

Studijní program B 2341 – Strojírenství

Materiály a technologie
zaměření strojírenská metalurgie

Ruční svařování vybraných typů svarů aluminidu železa metodou 141.

Hand welding of chosen weld type of iron aluminides by using method 141.

Petr Žilla
KSP – SM – B49

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Heinz Neumann, CSc. TU – v Liberci

Rozsah práce a příloh:

- Počet stran 63
- Počet tabulek 6
- Počet obrázků 63

Liberec, 24.5.2013



Stránka pro originální zadání bakalářské práce



ANOTACE

Studijní program:	B2341 – Strojírenství
Student:	Petr Žilla
Téma práce:	Ruční svařování vybraných typů svarů aluminidu železa metodou 141. Hand welding of chosen weld type of iron aluminides by using method 141.
Číslo BP:	KSP – SM – B49
Vedoucí BP:	doc. Ing. Heinz Neumann, CSc.

Abstrakt:

Cílem této bakalářské práce je analyzovat ruční svařování vybraných typů svarů aluminidu železa metodou ISO 4063-141. Práce obsahuje dvě části, a to teoretickou a experimentální část. V teoretické části je popsána všeobecná metodika svařování. Experimentální část se zabývá procesem svařování, které je zaznamenáváno pomocí systému WeldMonitor. Výsledná data mohou být podkladem pro další možný vývoj, či zkvalitnění simulace svařovacího procesu v programu SYSWELD.

Abstract :

The aim of this thesis is to analyze Hand welding of chosen weld type of iron aluminides by using method ISO 4063-141. The work contains two parts: theoretical and experimental part. The theoretical part describe the general methology for welding. Experimental section deals with process of welding which is recorded using the WeldMonitor. The resulting data can be a foundation for potential development, or improving the welding process simulation program SYSWELD.



Místopřísežné prohlášení:

Místopřísežně prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury.

V Liberci, 24. května 2013

.....
Petr Žilla

Větrná 494

468 61 Desná II v Jizerských horách



Poděkování

Cítím povinnost poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce panu doc. Ing. Heinzu Neumannovi CSc., který mi přispěl velmi cennými radami a odbornými poznatky jak v teoretické, tak i v experimentální části mé bakalářské práce.

Dále bych rád poděkoval celé své rodině a přátelům za jejich podporu a trpělivost, kterých se mi dostávalo po celou dobu mého studia na TU v Liberci.



OBSAH

1. ÚVOD	9
2. TEORETICKÁ ČÁST	11
2.1 Metoda svařování 141 dle ČSN EN ISO 4063	11
2.1.1 Charakteristika	11
2.1.2 Podstata metody	12
2.1.3 Příslušenství	13
2.1.3.1 Přídavný materiál	14
2.1.3.2 Svařovací hořáky	14
2.1.3.3 Elektrody	15
2.1.4 Druhy svařovacích proudů	18
2.1.5 Zdroje napájení	21
2.1.6 Ochranné plyny	25
2.1.7 Vady při svařování dle ČSN EN ISO 5817	26
2.1.8 Použití	29
2.2 Aluminidy železa	29
2.2.1 Vlastnosti	29
2.2.2 Struktura	30
2.2.3 Mechanické vlastnosti	31
2.2.4 Příměsi	33
2.2.5 Svařitelnost	34
2.3 Monitorování svařovacího procesu	36
2.3.1 Sysweld	37
2.3.2 WeldMonitor	38
3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	40
3.1 Cíl práce a charakteristika základního materiálu	40
3.2 Svařovací pracoviště	42
3.3 Realizace zkušebních svarů	43
3.4 Vyhodnocení zkušebních svarů	54
4. ZÁVĚR	61
5. LITERATURA	62



Seznam použitých zkratk a symbolů

Zkratka:	Popis:
WIG	Svařování netavící se wolframovou elektrodou v inertním plynu (Wolfram–Inert–Gas).
TIG	Svařování netavící se wolframovou elektrodou v inertním plynu (Tungsten–Inert–Gas).
MIG	Svařování tavící se elektrodou v inertním plynu (Metal–Inert–Gas).
MAG	Svařování tavící se elektrodou v aktivním plynu (Metal–Aktive–Gas).
MMA	Ruční obloukové svařování obalenu elektrodou (Manual Metal Arc Welding).
FCAW	Ruční obloukové svařování plněnou elektrodou (Flux–Cored Arc Welding).
FCAG	Ruční obloukové svařování plněnou elektrodou v inertním plynu (Flux–Cored Wire Metal Arc Welding with Inert Gas Shield).
WP	wolframová elektroda
WZ	wolframová elektroda legovaná zirkonem
WT	wolframová elektroda legovaná titanem
WC	wolframová elektroda legovaná cérem
WL	wolframová elektroda legovaná lanthanem
Fe ₃ Al	aluminid železa
at. %	atomové procento
B2	FeAl uspořádaná struktura
D0 ₃	Fe ₃ Al uspořádaná struktura
α	ferit
DC	Stejnoseměrný proud (Direct Current)
AC	Střídavý proud (Alternating Current)

Symbol:

Popis [jednotka]:

I_z	základní proud [A]
I_p	impulsní proud [A]
t_z	čas základního proudu [s]
t_p	čas pulsu [s]
I	svařovací proud [A]
U	svařovací napětí [V]
ΔI	změna proudu oblouku [A]
ΔU	změna napětí oblouku [V]

1. ÚVOD [1], [2], [7]

Svařování je metalurgický proces zhotovování nerozebíratelných spojů dosažením meziatomových vazeb mezi spojovanými díly přímo, nebo prostřednictvím přídavného materiálu při jejich ohřevu nebo plastické deformaci, případně při společném působení ohřevu a plastické deformace. V zásadě lze tedy říci, že v souladu s normou ČSN EN 14610-Svařování a příbuzné procesy – Definice metod svařování kovů jsou metody systematicky uspořádány na základě fyzikálních vlastností a podle nositele energie se rozdělují:

- Tlakové svařování.
- Tavné svařování.

Na základě požadavků kladených na svařované konstrukce a samotné svary, rozlišujeme několik způsobů svařování. Jeden z nich, je i metoda svařování elektrickým obloukem. Tento způsob se začal vyvíjet koncem 19. století.

V současnosti se svařování elektrickým obloukem, které můžeme definovat jako tavné (tepelné) svařování řadí na první místa použitelnosti, a navíc lze konstatovat, že je tato metoda svařování v technické praxi velmi rozšířená a oblíbená pro svoji míru reprodukovatelnosti, relativně nízkých investičních nákladů, dosahovanou kvalitu a vysokého výkonu svařování. Zdroj tepla k natavení (roztavení) základního materiálu s elektrodou, popř. s přídavným materiálem v podobě svařovacího drátu (který má stejné, nebo podobné chemické složení jako základní materiál, který svařujeme). Je získán při hoření elektrického oblouku v ionizovaném plynu. Elektrický oblouk je zapotřebí udržovat dostačujícím napětím pro ionizaci v daném prostředí (10–50V) a proudu udržujícího oblouk (10–2000A). Zapaluje se buďto přerušením zkratu, nebo vysoko napětíovou jiskrou. Elektrická energie přeměněná na teplo vytváří oblouk o teplotě 6000–10000 °C, čímž dojde k natavení svařovaných součástí a k jejich následnému spojení. Při svařování elektrickým obloukem se používají zdroje stejnosměrného proudu – točivé stroje (dynamo+motor), usměrňovače, invertory. Pro střídavý proud se používají transformátory. Tento typ svařování je používán téměř ve všech výrobních oborech, ať už při výrobě nových strojů a konstrukcí, tak i při opravách.

V mé bakalářské práci se věnuji metodě svařování elektrickým obloukem, konkrétně její aplikační metodou – svařování netavicí se wolframovou elektrodou v inertním plynu, známou jako metodu WIG, popř. TIG. Mezi další metody elektrického oblouku patří:

- 111 - Ruční obloukové svařování obalenou elektrodou (MMA).
- 114 - Ruční obloukové svařování plněnou elektrodou bez ochranného plynu (FCAW).
- 131 - Svařování tavící se elektrodou v inertním plynu (MIG).
- 135 - Svařování tavící se elektrodou v aktivním plynu (MAG).
- 136 - Svařování plněnou elektrodou v aktivním plynu (MAG).
- 137 - Svařování plněnou elektrodou v inertním plynu (FCAG).

2. TEORETICKÁ ČÁST

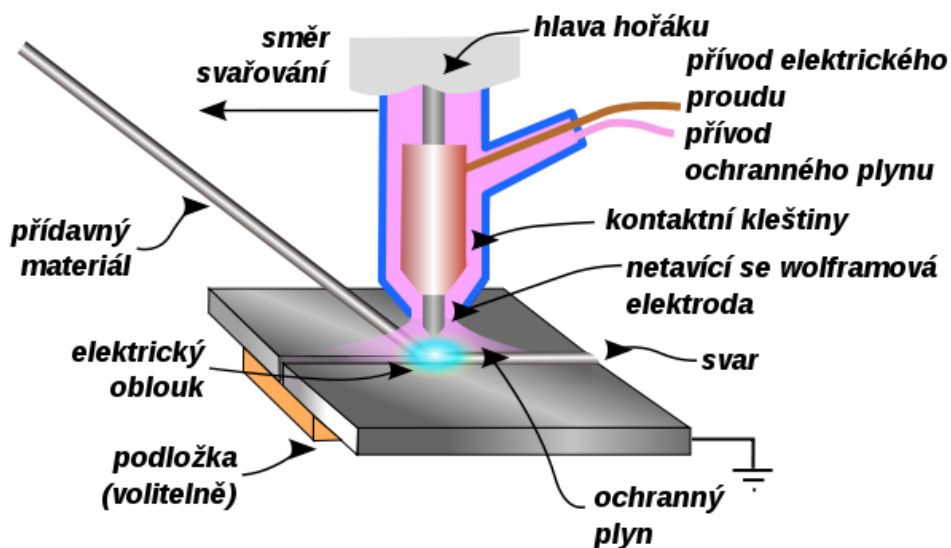
2.1 Metoda svařování 141 dle ČSN EN ISO 4063 [1], [7]

-Svařování netavící se wolframovou elektrodou v ochranné atmosféře inertního plynu

(Obr. 2.1)

Na základě završení předešlých pokusů a inovací svařování se kolem 40 let minulého století zrodila metoda WIG, která se používá především pro svařování hliníku, hořčíku a jejich slitin, korozivzdorných ocelí, titanu a dalších neferitických kovů.

V České republice a v ostatních státech na území Evropy, je tato metoda svařování rozšířená pod názvem WIG (Wolfram–Inert–Gas), ale stejnou měrou je označována TIG (Tungsten–Inert–Gas), v USA je obvyklé označení GTAW (Gas Tungsten Arc Welding).



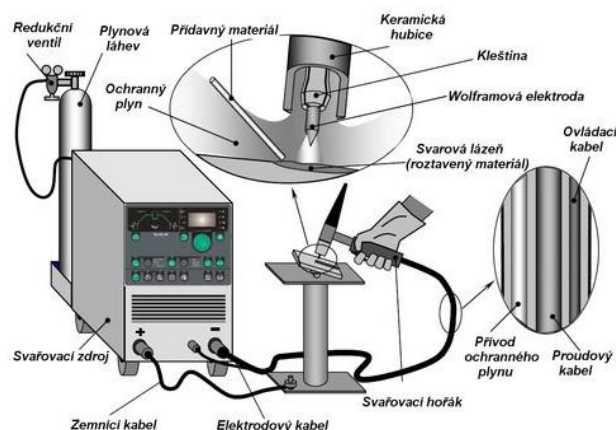
Obr. 2.1: Svařování WIG(TIG)[7]

2.1.1 Charakteristika [3], [13]

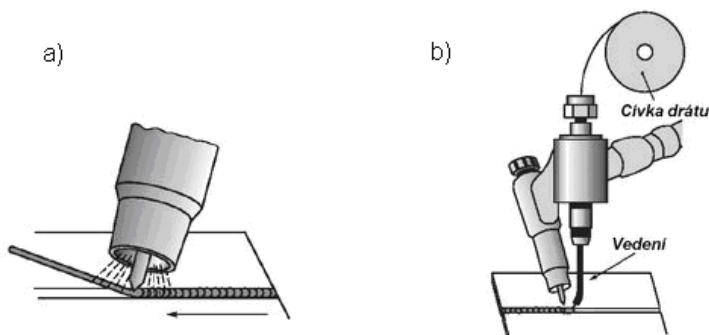
Jedná se o tavnou metodu svařování elektrickým obloukem, jejíž charakteristické rysy jsou použití neodtavujících se wolframových elektrod a dále použití inertních plynů, které chrání jak svarovou lázeň, tak i elektrodu. Mezi nejvíce používané plyny patří argon, helium, v některých případech vodík a dusík.

2.1.2 Podstata metody [1], [2], [3], [11]

Podstatou metody WIG je hoření elektrického oblouku mezi wolframovou elektrodou a svařovaným (základním) materiálem, nebo svařovou lázní v ochranné atmosféře inertního plynu (argonu, helia nebo jejich směsí). Inertní plyn chrání svařový kov před přístupem vzduchu a zvyšuje stabilitu svařovacího oblouku. Svařování probíhá buď bez přídavného materiálu, nebo s přídavným materiálem, který se do svařovacího oblouku přivádí ručně (obr. 2.3a), nebo podavačem drátu (obr.2.3b). Pro svařování hliníku, hořčíku a jejich slitin se používá střídavé napětí, pro další materiály jako jsou ocel, měď, titan je použit stejnosměrný proud. Při tomto způsobu svařování je možná částečná mechanizace nebo úplná automatizace. Dalším kladným faktorem této metody je možnost svařovat ve všech polohách. Svařovací proud se pohybuje v rozmezí 10 až 600A, napětí na oblouku je od 10 do 30V a konečně rychlost svařování je 6 až 50m/hod.



Obr. 2.2: Princip zapojení metody WIG(TIG) [12]



Obr. 2.3: a) WIG s manuálním dopravením přídavného drátu do svarové lázně.

b) WIG s automatickým dopravením přídavného drátu do svarové lázně. [12]

Výhody:

- Jednou z největších výhod je možnost svařování široké škály materiálů, jak nízkouhlíkové a vysoce legované oceli tak i martenzitické oceli a dále pak hliník, zirkon, molybden, nikl, měď, bronz i mosaz.
- Malé deformace.
- Dobrý vzhled svaru.
- Ovlivnění svařovaného materiálu je minimální → umožnění svařování materiálů malých tloušťek
- Není nutná přítomnost přídavného materiálu.
- Stabilita elektrického oblouku při velkém rozsahu svařovacích proudů.
- Ovladatelnost a snadná viditelnost svarové lázně.

Nevýhody:

- Komplikovanost zařízení na rozdíl od jiných svařovacích zařízení.
- Ekonomické hledisko – zařízení na svařování metodou WIG jsou příliš drahá.
- Produktivita svařování není příliš velká.

2.1.3 Příslušenství [9], [11], [12]

Pro známou metodu jako je WIG je na trhu široká škála příslušenství. Nejrozličnější druhy a typy hořáku, svařovacích zdrojů, elektrod, přídavných materiálů, aj. Toto příslušenství je však nezbytné pro proces svařování. Jednotlivé výrobky se liší nejen kvalitou, ale samozřejmě i cenou.

Vyobrazení svařovacího příslušenství:



Obr. 2.4: Hořák[9]



Obr. 2.5: Svářečka[9]



Obr. 2.6: Svářecí (ochranná)kukla[9]

2.1.3.1 Přídavný materiál [7], [10]

Přídavný materiál se používá ve formě tyček pro ruční svařování a drátů navinutých na cívkách pro mechanizované svařování. Svařovací tyčky se vyrábějí v průměrech **od 1 do 8mm**, a délkách **od 600 do 1000mm**, svařovací dráty pak v průměrech **od 0,6 až 2,4mm**, pro navařování až **5m**. Přídavný materiál spolu se všemi požadovanými legujícími prvky tvoří celek, který napomáhá, resp. zabezpečuje svar před dezoxidací, zajišťuje odplynění svarového kovu a doplnění vypálených prvků.

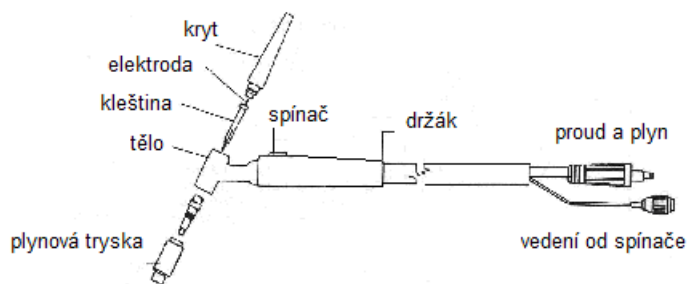


Obr. 2.7: Svařovací drát [9]



Obr. 2.8: Navinutý svařovací drát [9]

2.1.3.2 Svařovací hořáky [3], [7]



Obr. 2.9: Schéma hořáku [6]



Obr. 2.10: Hořák [9]

Základním prvkem svařovacího hořáku WIG je neodtavující se teplotně stálá wolframová elektroda. Oblouk, který z ní vychází, ohřívá materiál a převádí jej do kapalného stavu. Jak bylo již zmiňováno, přísun svařovacího drátu se uskutečňuje prostřednictvím podavače, nebo ručně. Zapálení oblouku probíhá obvykle bez dotyku wolframové elektrody s obrobkem. K tomuto účelu slouží zdroj vysokého napětí, který se při zapalování na přechodnou dobu připojí. Vlastní svařování se u většiny kovů uskutečňuje pomocí stejnosměrného proudu. Pouze hliník se svařuje střídavým proudem. Svařovací hořáky WIG jsou k dispozici jak v plynném chlazeném (do 150A), tak také ve vodou chlazeném provedení (od 350 do 500A). Součástí každého hořáku jsou kleštiny, sloužící k upnutí wolframové elektrody. Další nezbytnou částí hořáku jsou plynové trysky, které nám umožňují usměrnění plynu přesně do místa svařování.

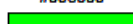
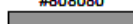




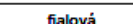
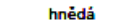
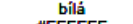

2.1.3.3 Elektrody [4], [5], [8], [26]

Wolframové elektrody se používají v celé řadě svařovacích metod. Jejich vlastnosti (délka, průměr, značení) nalezneme v normě ČSN EN ISO 6848 – Obloukové svařování a řezání – Netavící se wolframové elektrody - Klasifikace. Netavící se elektrodu lze popsat jako tyčku s průměrem **od 0,25 do 10mm**, a v délce **od 50 do 600mm**. Vyrábí se buď spékáním čistého wolframu (99,9%), nebo wolframu s legurami oxidů kovů thoria, lanthanu, ceru, zirkonu nebo yttria zhruba v množství **od 1 do 4 %**. Druhy elektrod se odlišují barevným proužkem umístěným na konci elektrody.

Značení elektrod:

- Např. WT10: - První písmeno **W** značí wolfram, který je základním prvkem elektrod.
 - Druhé písmeno značí přísadu oxidů - **zde Thorium**.
 - Číslo při základní značce udává desetinásobek koncentrace oxidů - **zde 0,9-1,2**

Tab. 2.1: značení elektrod dle ČSN EN ISO 6848

Klasifikační značka	Požadavky na chemické složení				Barva
	Přísada oxidů		Nečistoty hmotnostní zlomek %	Wolfram hmotnostní zlomek %	RGB odstín barvy Vzorek barvy ^a
	Hlavní oxid	hmotnostní zlomek %			
WP	žádný	N. A. ^b	0,5 max.	99,5 min.	Zelená #008000 
WCe 20	CeO ₂	1,8 až 2,2	0,5 max.	Zbytek	šedá #808080 
WLa 10	La ₂ O ₃	0,8 až 1,2	0,5 max.	Zbytek	černá #000000 
WLa 15	La ₂ O ₃	1,3 až 1,7	0,5 max.	Zbytek	zlatá #FFD700 
WLa 20	La ₂ O ₃	1,8 až 2,2	0,5 max.	Zbytek	modrá #0000FF 
WTh 10	ThO ₂	0,8 až 1,2	0,5 max.	Zbytek	žlutá #FFFF00 
WTh 20	ThO ₂	1,7 až 2,2	0,5 max.	Zbytek	červená #FF0000 
WTh 30	ThO ₂	2,8 až 3,2	0,5 max.	Zbytek	fialová #EE82EE 
WZr 3	ZrO ₂	0,15 až 0,50	0,5 max.	Zbytek	hnědá #A52A2A 
WZr 8	ZrO ₂	0,7 až 0,9	0,5 max.	Zbytek	bílá #FFFFFF 

^a RGB-barevné odstíny a vzorky barev lze vyhledat na webových stránkách:
<http://msdn.microsoft.com/library/default.asp?url=/workshop/author/dhtml/reference/colors/colors.asp>

^b N. A. = není aplikovatelné

Druhy wolframových elektrod:

WP

- Elektroda obsahující čistý wolfram (99,9%).
- Zaručená stabilita oblouku.
- Vhodná zejména pro slitiny hliníku.

WZ

- S příměsí zirkonu, který napomáhá k odstranění vměstků ve svarovém kovu.
- Použití u střídavého proudu → vhodný pro hliníkové slitiny.

WT

- S příměsí Thoria.
- Vzrůstající množství Thoria u této elektrody, má za následek zlepšení např. trvanlivosti, zapalovacích vlastností, proudovou zatížitelnost, aj.
- Užití především pro nerezové oceli svařované stejnosměrným proudem.

WC

- S příměsí Céru.
- Výhodou je univerzálnost hodí se téměř pro všechna použití – svařování hliníku, slitin titanu, niklu, nelegovaných i legovaných ocelí svařované stejnosměrným proudem.
- Jistá podobnost s elektrodami WT (dobrá trvanlivost, proudová zatížitelnost).

WL

- S příměsí Lanthanu, který usnadňuje zapalování.
- Možnost použití stejnosměrného i střídavého proudu.
- Vhodné pro svařování plasmou i mikroplasmou.



Obr. 2.11: Wolframové elektrody pro WIG [8]

Tab. 2.2 Vhodnost druhu proudu dle ČSN EN ISO 6848

Druh svařovaného kovu nebo slitiny	Stejnoseměrný proud		Střídavý proud
	Elektroda negativní (-)	Elektroda pozitivní (+)	
Hliník a slitiny hliníku (tloušťka ≤ 2,5 mm)	přípustné	přípustné	nejlepší
Hliník a slitiny hliníku (tloušťka > 2,5 mm)	přípustné	N.R. ^a	nejlepší
Hořčík a slitiny hořčíku	N.R.	přípustné	nejlepší
Nelegované a nízkolegované oceli	nejlepší	N.R.	N.R.
Nerezavějící oceli	nejlepší	N.R.	N.R.
Měď	nejlepší	N.R.	N.R.
Bronzy	nejlepší	N.R.	přípustné
Hliníkové bronzy	přípustné	N.R.	nejlepší
Křemíkové bronzy	nejlepší	N.R.	N.R.
Nikl a slitiny niklu	nejlepší	N.R.	přípustné
Titan a slitiny titanu	nejlepší	N.R.	přípustné
^a N.R. = nedoporučuje se			

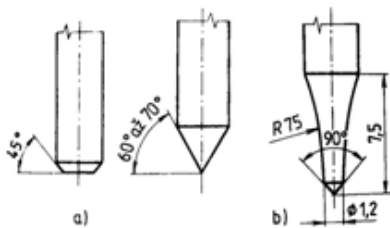
Tab. 2.3. Přibližný proudový rozsah v závislosti na průměru elektrod dle ČSN EN ISO 6848

Průměr elektrody	Stejnoseměrný proud (A)				Střídavý proud (A)	
	záporná polarita (-)		kladná polarita (+)			
	čistý wolfram	wolfram s oxidy	čistý wolfram	wolfram s oxidy	čistý wolfram	wolfram s oxidy
mm						
0,25	až 15	až 15	není použitelné	není použitelné	až 15	až 15
0,30	až 15	až 15	není použitelné	není použitelné	až 15	až 15
0,50	2 až 20	2 až 20	není použitelné	není použitelné	2 až 15	2 až 15
1,0	10 až 75	10 až 75	není použitelné	není použitelné	15 až 55	15 až 70
1,5	60 až 150	60 až 150	10 až 20	10 až 20	45 až 90	60 až 125
1,6	60 až 150	60 až 150	10 až 20	10 až 20	45 až 90	60 až 125
2,0	75 až 180	100 až 200	15 až 25	15 až 25	65 až 125	85 až 180
2,4	120 až 220	150 až 250	15 až 30	15 až 30	80 až 140	120 až 210
2,5	130 až 230	170 až 250	17 až 30	17 až 30	80 až 140	120 až 210
3,0	150 až 300	210 až 310	20 až 35	20 až 35	140 až 180	140 až 230
3,2	160 až 310	225 až 330	20 až 35	20 až 35	150 až 190	150 až 250
4,0	275 až 450	350 až 480	35 až 50	35 až 50	180 až 260	240 až 350
4,8	380 až 600	480 až 650	50 až 70	50 až 70	240 až 350	330 až 450
5,0	400 až 625	500 až 675	50 až 70	50 až 70	240 až 350	330 až 460
6,3	550 až 875	650 až 950	65 až 100	65 až 100	300 až 450	430 až 575
6,4	575 až 900	750 až 1 000	70 až 125	70 až 125	325 až 450	450 až 600
8,0						650 až 830
10,0						
POZNÁMKA Nejsou-li uvedeny žádné hodnoty, není k dispozici žádné doporučení.						

Broušení elektrod:

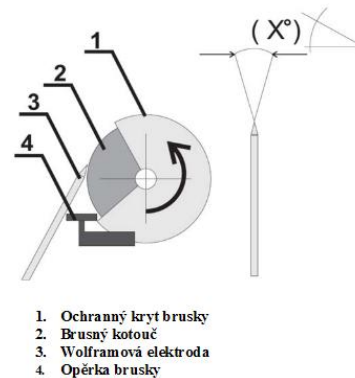
Průběh svařování a kvalita svaru je ovlivňována tvarem konce elektrody, proto se elektrody zabrušují. Při broušení bychom měli dbát na to, aby vrypy byly rovnoběžné s podélnou osou, pokud by tomu tak nebylo, hrozil by nám vznik nestabilního oblouku.

Úprava konců wolframové elektrody:



Obr. 2.12: Úprava konců wolframové elektrody [4]

a) válcový konec, b) kuželový konec



Obr. 2.13: Broušení wolframové elektrody [14]

2.1.4 Druhy svařovacích proudů [4], [5], [7]

Svařování stejnosměrným proudem:

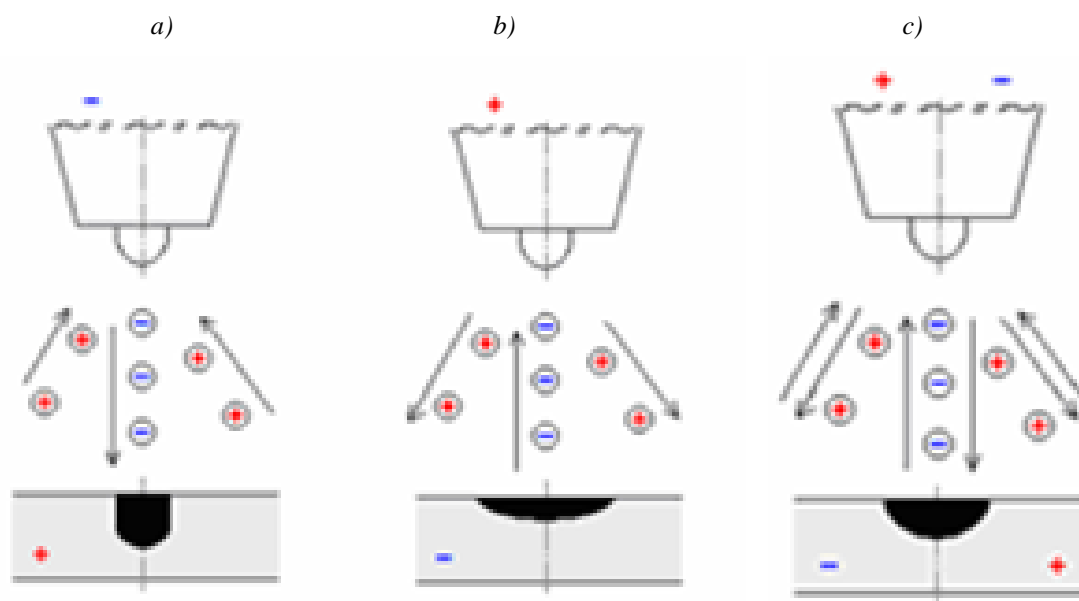
Základním způsobem při svařování metodou WIG je zapojení stejnosměrným proudem, u kterého máme dva typy zapojení – přímá a nepřímá polarita.

- **Přímá polarita** (Obr. 2.14 a)

Princip spočívá v tom, že se wolframová elektroda připojí k zápornému pólu zdroje a svařovaný materiál na kladný pól. Tepelná zátěž u přímé polarity je nesymetricky rozdělena – zhruba jedna třetina připadá na elektrodu a dvě třetiny pro natavení svarových ploch základního materiálu. Výhodou je, že elektroda není tak tepelně namáhána, čímž dochází k velkému průvaru. Použití přímé polarity umožňuje snížení opotřebení elektrody. Svar je úzký a hluboký a je dosahováno vysokých rychlostí posuvu s následným nízkým dodávaným teplem. Pro stabilitu oblouku u přímé polarity je zapotřebí zabrušovat špičku, která má snahu se vlivem různých faktorů zakulacovat. V technické praxi se tato metoda zapojení využívá především pro různé typy ocelí, niklu, mědi, titanu. Nevýhodou přímé polarity je, že nedochází k čistícímu efektu oblouku.

- **Nepřímá polarita** (Obr. 2.14 b)

Zapojí-li se elektroda na pól plus dopadají kladně nabití ionty na povrchovou vrstvu oxidů, kterou rozrušují – dochází k čistícímu efektu. Pro dosažení tohoto efektu musí být základní materiál připojen na záporný pól zdroje stejnosměrného svařovacího proudu (tvoří tedy katodu) a svařecí elektroda je připojena na pól kladný (tvoří anodu). Tok elektrického proudu je vyvolán pohybem elektronů od katody k anodě. Na katodě se vytvoří tzv. katodová skvrna, což je oblast s nejvyšší emisí elektronů. Katodová skvrna má tendenci vyhledávat na katodě místo s nejvyšším elektrickým potenciálem, které je v případě hliníku tvořeno vrstvičkou oxidu Al_2O_3 . Díky své energii skvrna oxid spolehlivě odpaří. Svar u nepřímé polarity je mělký a široký. Nepřímá polarita je vhodná zejména pro materiály potažené odolnou vrstvou oxidů (čistý hliník a jeho slitiny) dále pro svařování materiálů malých tloušťek, které lze svařit malými proudy. Při této metodě hrozí riziko odtavení elektrody, jelikož je vystavena velkému tepelnému namáhání.



Obr. 2.14: Druhy svařovacích proudů [8] a) Stejnosměrný proud - přímá polarita
b) Stejnosměrný proud - nepřímá polarita
c) Střídavý proud.

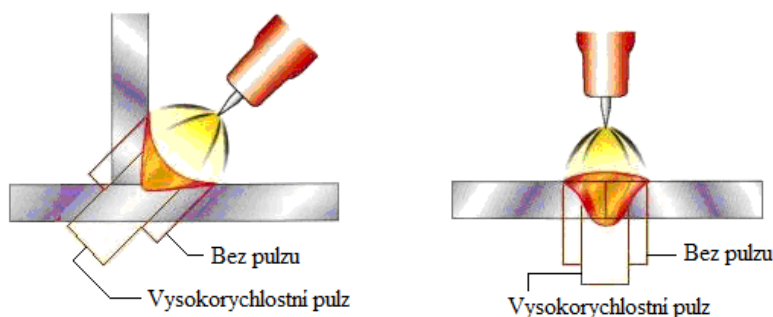
Svařování střídavým proudem : (Obr. 2.14 c)

Při tomto typu svařování dochází ke změnám polarit v pravidelných intervalech. To nám automaticky zaručí využití výhod obou polarit vzájemně. Princip této metody spočívá v tom, že část wolframové elektrody je připojena na kladný pól zdroje a zbylá část je připojena na záporný pól. V okamžik kdy je elektroda připojená na kladný pól dochází na základním materiálu k odstraňování oxidů, ovšem elektroda je více namáhaná. V opačném případě, je-li elektroda připojená na záporný pól, dochází k většímu natavení základního materiálu. Můžeme tedy říci, že při svařování elektrickým obloukem pomocí střídavého proudu dochází ke střídání fáze čištění a fáze svařování. Při nižších proudech hrozí nestabilita oblouku, což může vést k defektům ve svarech, nebo úplné znemožnění procesu svařování. Z tohoto důvodu je nutné elektrický oblouk stabilizovat pomocí vysokonapětového, vysokofrekvenčního nebo pulzního generátoru. Výskyt oxidů na povrchu materiálu může ohrozit proces svařování, proto je nutné tyto oxidy odstranit pomocí čistícího efektu.

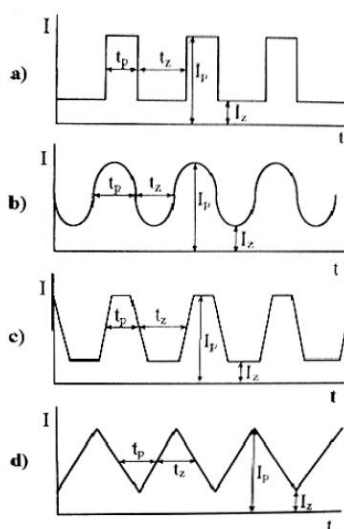
Svařování impulsním proudem:

Svařování impulsním proudem se v dnešní době řadí mezi nejmodernější způsoby metody WIG. Je vhodné jak pro svařování stejnosměrným, tak i střídavým proudem. Podstatou této metody je pravidelné měnění intenzity proudu s časem mezi dvěma proudovými hladinami – základním proudem I_z a impulsním proudem I_p . Základní proud se pohybuje v rozmezí **10 až 15A**, a slouží pouze k ionizaci oblouku v čase t_z . Nastane-li případ, že doba základního proudu je delší nežli dvojnásobek doby pulsu, svarová lázeň nám zcela zatuhne (svařování vysokolegovaných ocelí). Pokud je doba základního proudu kratší než doba pulsu, lázeň nezatuhne, pouze zmenší svůj rozměr. V čase t_p dochází vlivem impulsního proudu k natavení svarové lázně a přídavného materiálu. Amplituda impulsního proudu a doba trvání pulsu nám určuje rozměr svarové lázně. Velmi výhodné je používání impulsního proudu při svařování v nucených polohách jednostranně přístupných svarů (např. svary trubek) a svařování materiálů citlivých na přehřátí (např. mědi).

Výhodami svařování impulsním proudem je například regulace svařovacího proudu, vynikající vzhled svaru, nižší tepelné ovlivnění materiálu, což vede k menším deformacím. Podle charakteru zdroje může být tvar průběhu impulsů proudu pravoúhlý, sinusový, lichoběžníkový, trojúhelníkový (Obr. 2.16).



Obr. 2.15: Rozdíl svařování s pulsem a bez pulsu [8]

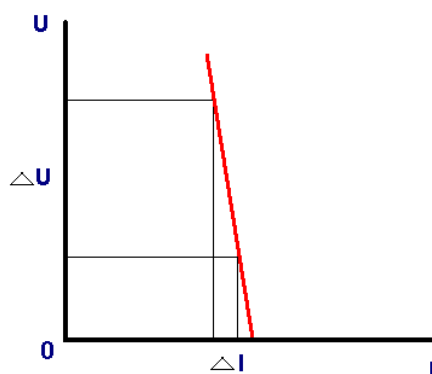


Obr. 2.16: Průběh impulsního proudu [14]

a)pravoúhlý, b)sinusový, c)lichoběžníkový, d)trojúhelníkový

2.1.5 Zdroje napájení [3], [5], [6], [8]

Při svařování metodou WIG se používají zdroje stejnosměrného proudu (DC), tak i střídavého proudu (AC). Základem zdroje stejnosměrného proudu je usměrňovač, nebo lze také použít invertor doplněný o řídicí jednotku, která komplexně ovládá svařovací proces, zapálení oblouku a v neposlední řadě dynamický průběh proudu a napětí v čase. Jistou výhodou je možnost použití stejných zdrojů, jako u svařování obalenou elektrodou, protože mají taktéž strmou statickou (voltampérovou) charakteristiku. Statická charakteristika svařovacího zdroje (Obr. 2.17) udává závislost proudu a svorkového napětí zdroje v ustáleném stavu. Strmost je odpor ve svařovacím obvodu. U strmé charakteristiky dochází při větších změnách napětí (ΔU) pouze k malým změnám svařovacího proudu (ΔI). Napětí je přímo úměrné oblouku.



Obr 2.17: Statická charakteristika zdroje [8]

Svařovací zdroj nebo svařovací agregát je elektrické zařízení používané pro generování proudu při svařování metodami obloukového svařování, nebo při odporovém svařování. Svařovací zdroj musí splnit celou řadu požadavků vyžadovaných pro bezproblémové svařování jako je regulace elektrického napětí a elektrického proudu, odolnost při vzniku krátkodobých zkratů, zapálení a stabilní hoření elektrického oblouku, stálost výkonu a dostatečnou účinnost. Chceme-li dosáhnout rovnoměrného a stabilního hoření elektrického oblouku, je třeba hodnoty síťového napětí a proudu změnit na hodnoty potřebné pro stabilní hoření oblouku. K tomu nám slouží zdroje svařovacího proudu. Tyto zdroje pak dělíme:

- Zdroje střídavého proudu (AC) - transformátory
- Zdroje stejnosměrného proudu (DC) - točivé (rotační) - dynama
 - netočivé - usměrňovače
 - měníče (invertory)

Transformátor

Jedná se o speciálně upravený transformátor, který pro zvýšení strmosti statické charakteristiky obsahuje výkonné elektrické prvky. Po zapálení elektrického oblouku při svařování vznikne uzavřením svařovacího obvodu střídavý svařovací proud. Pro vysokonapěťové impulsy s vysokou frekvencí je součástí těchto zdrojů stabilizátor.

Výhody:

- Nízký příkon při běhu naprázdno.
- Při použití elektrod s vhodným obalem dosahuje velmi dobrých svařovacích vlastností.

Nevýhody:

- Vysoká hmotnost.
- Neklidné hoření oblouku s poměrně velkým rozstříkem.

Dynamo

Jedná se o zařízení, které mění mechanickou energii na elektrickou a tím generuje (vyrábí) stejnosměrný proud. Budící proud ve statorovém vinutí vyvolá ve statoru magnetický tok. Ve vinutí rotoru se při jeho otáčení v magnetickém poli indukuje střídavé napětí, které se komutátorem upevněným na hřídeli rotoru mění na napětí stejnosměrné. Z komutátoru se stejnosměrné napětí odvádí kartáči na svorkovnici stroje, odkud se odebírá potřebný elektrický proud.

Výhody:

- Nedochází ke kolísání svařovacího proudu při krátkodobých změnách napětí v síti.
- Univerzálnost použití pro všechny základní i přídavné materiály.
- Nízká cena.
- Možnost dálkové regulace proudu.

Nevýhody:

- Velká hmotnost a rozměry stroje.
- Velká hlučnost.
- Špatná účinnost stroje (velká spotřeba) a velké ztráty elektrické energie při běhu naprázdno (až 3 kW).

Usměrňovač

Slouží k přeměně a k usměrnění střídavého proudu na stejnosměrný. Skládá ze síťového transformátoru a usměrňovacích prvků v sekundárním obvodu transformátoru. Usměrňovacími prvky jsou polovodičové křemíkové diody. Svařovací usměrňovače mají nižší spotřebu v porovnání se svařovacími dynamy, vyšší účinnost až 80%, nižší hmotnost a hlučnost.

Výhody:

- Snadná regulace svařovacího proudu.
- Variabilita strojů a tedy možnost použití pro více technologií.

Nevýhody:

- Vysoká pořizovací cena.

Měnič (Invertor)

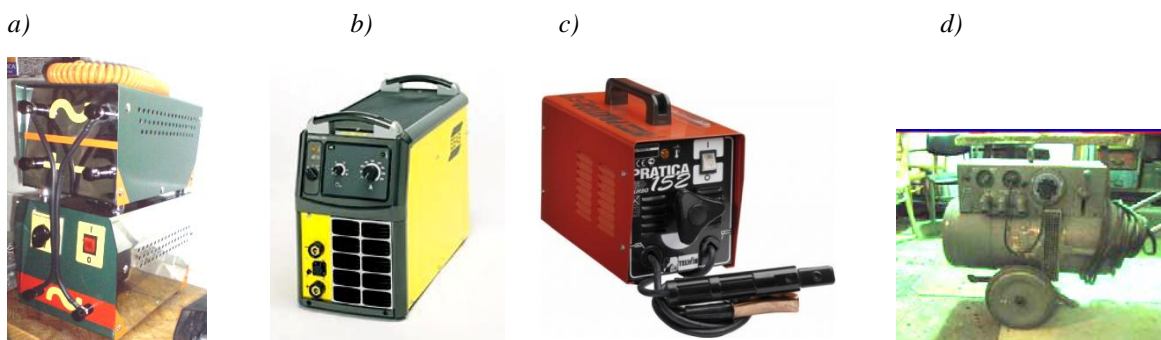
Jsou to zdroje řízené výkonovými tranzistory, které pracují na základě středofrekvenčních měničů s frekvencemi od 20 do 100 kHz. Účinnost se pohybuje okolo 90%. Vysoká frekvence se dosahuje z usměrněného střídavého proudu. Tyto zdroje mají vlastní centrální řídicí jednotku umožňující mj. i synergický režim. Tato zařízení mají velmi dobré výkonné parametry, velkou spolehlivost a ultra nízkou hmotnost. V současné době jsou velmi rychle zaváděny do průmyslového využití.

Výhody:

- Vysoký a stabilní svařovací výkon.
- Svařovací oblouk téměř bez rozstříku.
- Velice rychlá regulace napětí.
- Jednoduchá a nenáročná obsluha.
- Optimálně různě nastavitelné statické charakteristiky pro různé metody svařování (velmi snadno lze realizovat univerzální svařovací zdroje pro MMA, TIG, MIG/MAG).

Nevýhody:

- Vysoká pořizovací cena.
- Nutnost síťového filtru.
- Velké namáhání tranzistorového taktování a drahý servis.



Obr 2.18: Svařovací zdroje (zdroje napájení)[8], [9], [14]

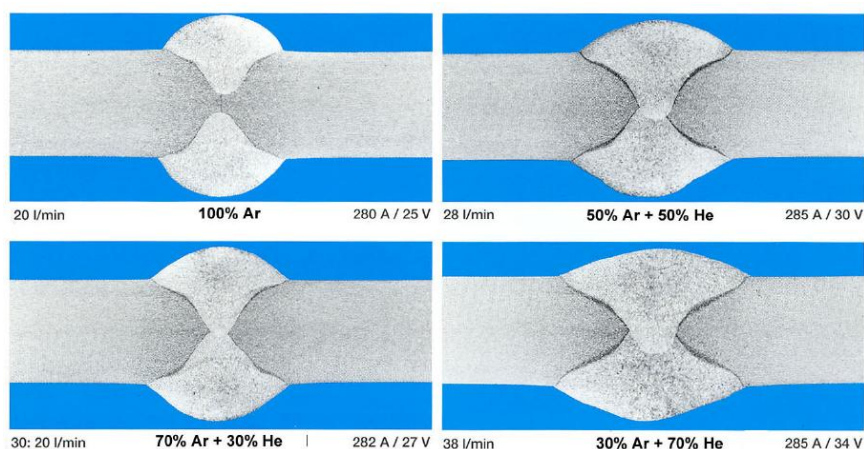
- a) Kompletní sestava – transformátor + usměrňovač
- b) Invertor
- c) Svářecí transformátor
- d) Točivý svařovací zdroj - dynamo

2.1.6 Ochranné plyny [5], [6], [12]

Hlavní úlohou ochranných plynů je zamezit přístupu vzduchu do oblasti svařování, tzn. především chránit elektrodu, oblouk i tavnou lázeň, její okolí a kořen svaru před účinky vzdušného kyslíku, který způsobuje oxidaci a další nepříznivé jevy při svařování. (propal prvků, pórovitost, aj.). Ochranné plyny mají také významný vliv například na chování tavné lázně, hloubky závaru, rychlosti svařování, přenosu tepelné energie do svaru. Ochranný plyn svým složením a množstvím ovlivňuje tyto charakteristiky svařování:

- Vytvoření ionizovaného prostředí pro dobrý start a hoření oblouku.
- Tvar a rozměry oblouku.
- Kvalitu, celistvost a mechanické vlastnosti svarového spoje.
- Hladkost povrchu svaru a jeho přechod na základní materiál.

Inertní plyny Argon a Helium a jejich směsi chemicky nereagují se svarovou lázní a propal prvků ve svarovém kovu je minimální, tudíž nemají vliv na výsledné chemické složení svaru.



Obr. 2.19: Důsledek záměny plynů u metody WIG (TIG)[14]

Druhy plynů:

- Argon

Nejčastěji užívaným ochranným plynem. Lze použít téměř pro všechny svařované materiály. Nízká tepelná vodivost a relativně malý ionizační potenciál → elektrický oblouk se snadno zapaluje a stabilně hoří.

- Helium

Jednoatomový plyn s vysokou tepelnou vodivostí, která zaručuje výborný přenos tepla do svarové lázně, to je výhodné při svařování kovů s vysokou tepelnou vodivostí (měď) a povrchovými vysokotavitelnými oxidy (hliník). Není vhodný pro ruční svařování, dostává spíše přednost při mechanizovaném způsobu – svařovací roboty.

- Směs Argonu a Helia

Dalo by se říct, že použití této směsi kombinuje výhody obou plynů, tj. snadného zapalování a hoření oblouku u argonu a vysokého tepelného výkonu oblouku u hélia. Se zvětšujícím se poměrem hélia vůči argonu se zvyšuje rychlost svařování a klesá náchylnost k pórovitosti svarů. Používají se u svařování hliníku a jeho slitin nebo mědi. Dodávají se již namíchané v tlakových lahvích a to v poměrech 30 % Ar + 70 % He nebo 50 % Ar + 50 % He nebo 70 % Ar + 30 % He.

- Směs Argonu a vodíku

Vysoký tepelný výkon díky přítomnosti vodíku. Obsah vodíku ve směsi se pohybuje od 5 do 10 %. Směs se používá výhradně ke svařování korozivzdorných austenitických ocelí, niklu a jeho slitin.

- Směs Argonu a dusíku

V této směsi je cca 10 % dusíku. Pro svařování ocelí by se tato směs neměla používat, protože způsobuje zhoršení mechanických vlastností svarů, zejména zkřehnutí. Je zde větší tepelná vodivost – vhodná pro svařování mědi a jejích slitin.

2.1.7 Vady při svařování dle ČSN EN ISO 5817 [5], [18], [19]

Během svařování se mohou vyskytnout okolnosti, které vedou na vznik nedokonalostí a vad svarů. Vady jsou normativně hodnoceny, tedy kvantifikovány a kvalifikovány na základě daných kritérií pro daný typ výrobku:

ČSN EN ISO 5817 - Svařování – Svarové spoje oceli, niklu, titanu a jejich slitin zhotovené tavným svařováním (mimo elektronového a laserového svařování) – Určování stupňů jakosti.

ČSN EN ISO 10042 (hliník), (normativní odkaz).

ČSN EN ISO 5817

Tato mezinárodní norma stanovuje stupně kvality podle vad svarových spojů zhotovených tavným svařováním. Neplatí pro svary prováděné elektronovým a laserovým svařováním. Ustanovení normy se vztahují na všechny druhy ocelí, niklu, titanu a jejich slitin pro materiály o tloušťce větší než 0,5mm. Zahrnují plně provařené tupé svary a veškeré koutové svary a dále je možné normu použít i pro částečně provařené tupé svary.[18]

Norma uvádí tři stupně kvality, označené B, C a D, aby bylo možné použití pro širokou řadu svařovaných výrobků. Stupeň kvality B odpovídá nejvyššímu požadavku na kvalitu zhotoveného svaru[18]. Tato mezinárodní norma se používá pro:

- Ruční, mechanizované a automatické svařování.
- Všechny polohy svařování.
- V souladu s ISO 4063 pro:
 - 11 Obloukové svařování tavící se elektrodou bez ochranného plynu.
 - 12 Svařování pod tavidlem.
 - 13 Obloukové svařování tavící se elektrodou v ochranném plynu.
 - 14 Obloukové svařování netavící se elektrodou v ochranném plynu.
 - 15 Plazmové svařování.
 - 31 Plamenové svařování s kyslíkem (pouze pro ocel).

Metalurgická hlediska, například velikost zrna, tvrdost, nejsou v této mezinárodní normě zahrnuta. [18]

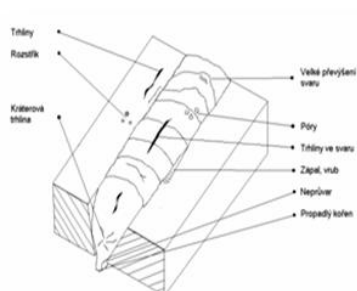
ČSN EN ISO 10042 – Svařování – Svarové spoje hliníku a jeho slitin zhotovené obloukovým svařováním – určování stupňů jakosti. [19]

ČSN EN ISO 6520-1 Tato část ISO 6520 bude sloužit jako podklad pro přesnou klasifikaci a popis vad ve svarech. Typy vad jsou definovány společně s vysvětlením i s vyobrazeními. (katalog přípustných a nepřípustných vad). [19]

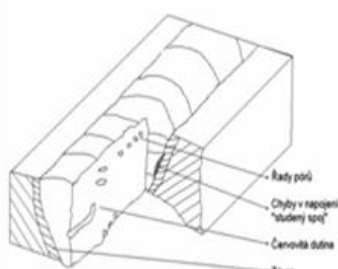
Tab. 2.4 Nejčastější možné vady při svařování metodou WIG [5]

Název vady	Příčina
Póry a bubliny ve svaru, oxidické vměstky	Znečištěný materiál, vlhkost elektrod, nedostatečná plynová ochrana
Vměstky ve svarovém kovu	Nalegování elektrody od přídavného materiálu
Neprůvary v kořenu svaru	Velká rychlost svařování, nevhodná příprava svařovacích ploch, malá intenzita proudu
Vruby ve svarovém spoji	Přehřátý materiál, velká intenzita proudu
Studený spoj	Nízký svařovací proud, nesprávné vedení elektrody, velká rychlost svařování, velký průměr přídavného materiálu, nevhodná příprava ploch
Nečistý povrch svaru	Nalegovaná elektroda, nestabilní oblouk, nevhodná příprava svařovacích ploch
Protečený kořen svaru	Malá rychlost svařování, velká mezera mezi svařovanými díly, velký svařovací proud
Vyosení svaru	Nesprávné kladení vrstev – ztráta orientace
Nadměrné převýšení svaru	Nízký svařovací proud, malá rychlost svařování, velký průměr přídavného materiálu.
Trhliny (podélné, příčné, kráterové)	základní materiál s vyšším obsahem uhlíku, manganu, nebo dalších legujících prvků, smrštění při tuhnutí svarového kovu
Rozstřík	příliš velký svařovací proud, příliš dlouhý oblouk, nesprávná polarita.

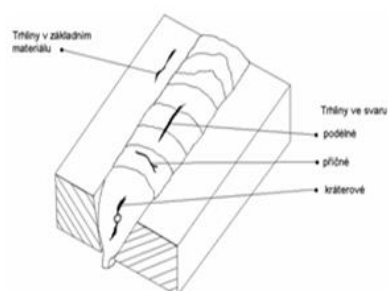
a)



b)



c)



Obr. 2.20: Vyobrazení vad [17]

a) přehled vnějších viditelných vad

b) přehled vnitřních vad

c) druhy trhlin

2.1.8 Použití [7]

Metoda WIG je použitelná pro svařování téměř všech kovových materiálů. Vhodné pro svařování legovaných ocelí, neželezných kovů, slitin hliníku, hořčíku a tam, kde se vyžaduje vysoká jakost svarů.



Obr. 2.21: Svarové spoje trubek [7]

2.2 Aluminidy železa [20], [21]

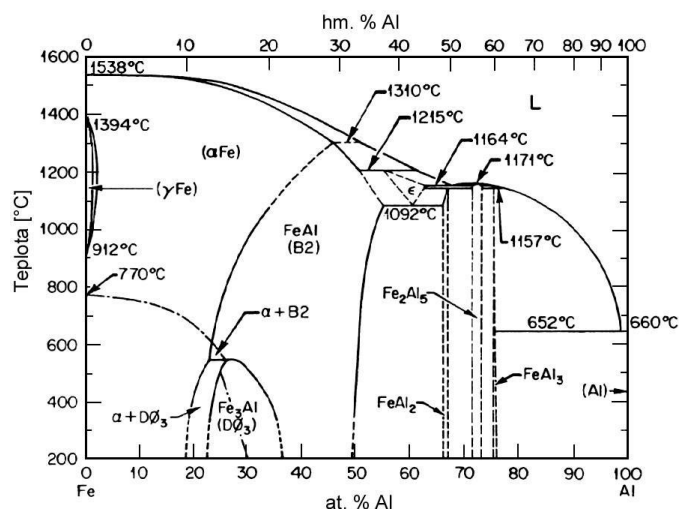
Aluminidy železa jsou materiály, které byly poprvé zmiňovány zhruba ve třicátých letech minulého století. Jedná se o velice progresivní materiál, který je v zahraničí často používán. V České republice se tento materiál prozatím využívá za účelem zkoumání, resp. ověřování technologických možností vyrobit materiál stejných, či podobných vlastností v domácích podmínkách a seznámit s ním odbornou veřejnost. Aluminidy železa se jako konstrukční materiály uplatňují díky své nízké ceně (v porovnání s korozi-vzdornými a žáruvzdornými ocelmi, jež obsahují velké množství aditiv – chrom, nikl).

2.2.1 Vlastnosti [20]

Slitiny tvořené intermetaliky hliníku s přidáním kovy (železo, nikl, titan) nazývané Aluminidy jsou velmi perspektivními materiály pro vysokoteplotní aplikace. Vyznačují se nízkou měrnou hmotností a vynikající odolností vůči oxidačnímu a sulfidizačnímu prostředí a to i při teplotách nad 600°C, a také za přítomnosti síry. Očekává se, že jejich použití omezí spotřebu poměrně nákladných kovů, jako je nikl a chrom, bez nichž si nelze představit žáruvzdorné oceli a niklové superslitiny. Uvažuje se o použití aluminidu železa zejména v souvislosti se zplynováním uhlí, při zpracování a těžbě ropy, v chemickém průmyslu, při vývoji automobilů, v leteckém odvětví a v mnoha dalších aplikacích. Hlavním omezením pro konstrukční využití těchto materiálů je nízká tažnost při pokojové teplotě a problematická výroba těchto materiálů. K odstranění tohoto nedostatku a zlepšení vlastností může vést způsob zpracování a úprava složení vhodným legováním např. chromem, niobem, zirkonem, cérem a dalšími legujícími prvky.

2.2.2 Struktura [20], [21]

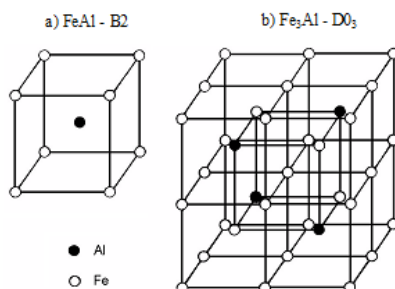
Aluminidy železa jsou intermetalické sloučeniny. Z hlediska strukturního jsou to tuhé roztoky, ve kterých jsou uspořádány jednotlivé atomy pod určitou kritickou teplotou. Zpravidla existují v relativně malém rozmezí koncentrací kolem stechiometrických složení. Ve fázovém diagramu Fe-Al (Obr. 2.22) je znázorněno mnoho intermetalických fází. Mezi důležité fáze patří např. neuspořádaný tuhý roztok α (ferit), dvě uspořádané fáze B_2 a $D0_3$. Po úpravě složení slitiny do nestechiometrického složení Fe-28 at.% Al je zajištěna situace pouze s jediným rozhodujícím fázovým přechodem v pevném stavu – odstranění nadbytečné fázové transformace přes dvoufázové oblasti.



Obr. 2.22: Fázový diagram Fe-Al [21]

Krystalová struktura

Uspořádané buňky krystalové struktury Fe_3Al ($D0_3$) a $FeAl$ ($B2$) vycházejí z krychlové prostorově středěné struktury (Obr. 2.23). Atom hliníku ve středu krychle a atomy železa v rozích, charakterizují mřížku $B2$, která je průnikem dvou krychlových mřížek železa a hliníku. Buňka $D0_3$ obsahuje osm elementárních buněk $B2$, které jsou sloučeny dohromady, ovšem se střídavým umístěním atomů železa a hliníku v prostorově středěné poloze.



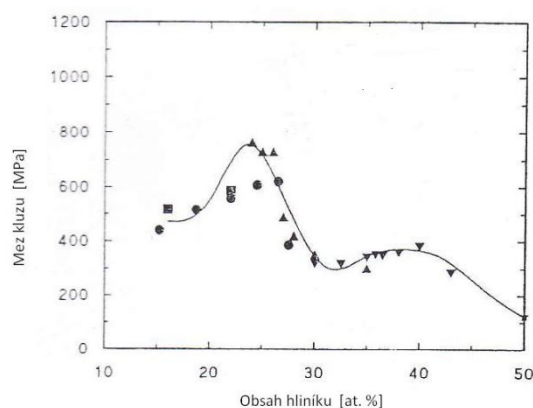
Obr. 2.23: Základní buňky struktury [21] a) $FeAl$ ($B2$)

b) Fe_3Al ($D0_3$)

2.2.3 Mechanické vlastnosti [20], [22]

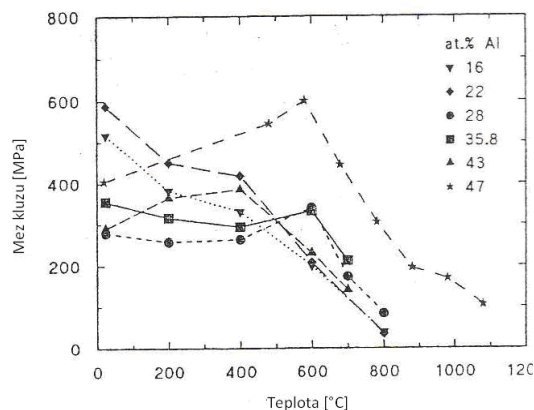
Jedním z hlavních důvodů využití intermetalik v současnosti jsou jejich mechanické vlastnosti. Je to zejména jejich tvrdost a vysoká pevnost při vysokých teplotách. Na ovlivnění mechanických vlastností má vliv mnoho faktorů – tepelné zpracování, obsah železa, slitinové přísady, mikrostruktura, aj.

V blízkosti stechiometrického složení Fe_3Al dosahuje pevnost při pokojové teplotě svého maxima, stejně je tomu i u tvrdosti. Důvodem vyšší pevnosti je vyšší stupeň uspořádání D0_3 . Maximální meze pevnosti u často používaných binárních slitin s 28 at.% Al dosáhneme poblíž přechodové teploty $\text{D0}_3\text{--B2}$ (550°C). Při teplotě nad 600°C vzrůstá prodloužení, ovšem pevnost nám výrazně klesá. Při zvyšujícím se obsahu hliníku v binárních slitinách má mez kluzu tendenci k růstu. V rozmezí teplot $350\text{--}600^\circ\text{C}$ roste s teplotou. Vrchol je dosažen při teplotách vyšších než 600°C při složení Fe_3Al .

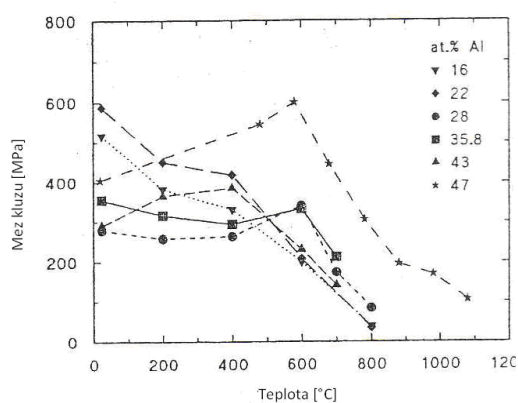


Obr. 2.24: Průběh meze kluzu v závislosti na obsahu hliníku. [21]

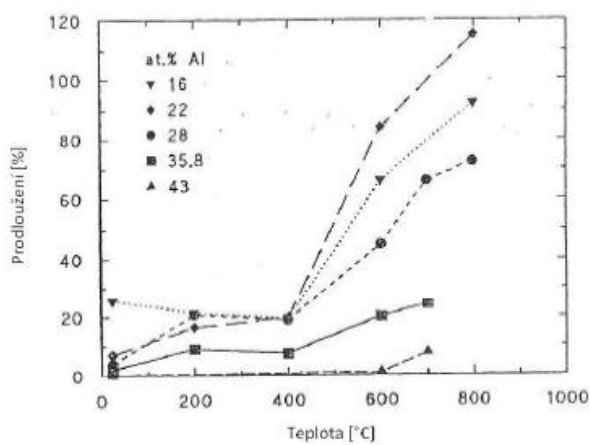
Obecně pro binární slitiny platí, že s růstem koncentrace hliníku nastává problém s křehkostí při pokojové teplotě a nedostatku vysokoteplotní pevnosti.



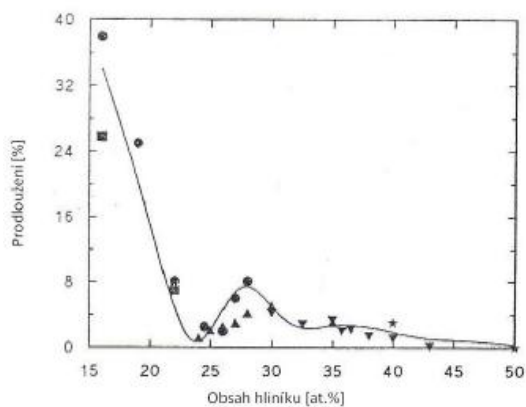
Obr. 2.25: Průběh meze kluzu v závislosti na teplotě pro různé obsahy hliníku. [21]



Obr. 2.26: Průběh meze kluzu v závislosti na teplotě pro různé obsahy hliníku. [21]



Obr. 2.27: Průběh prodloužení v závislosti na teplotě pro různé obsahy hliníku. [21]



Obr. 2.28: Průběh prodloužení v závislosti na obsahu hliníku. [21]

2.2.4 Příměsi [20], [21], [22]

Příměsí u aluminidu železa, ať už ternární, intersticiální nebo substituční mají vliv na změny mechanických, fyzikálních a svařovacích vlastností. Vhodným použitím příměsí např. (Si, Cr, Ti, Mo) můžeme vylepšit mez tečení. Dalšími příměsemi (Nb, Ta) lze zlepšit mez kluzu při pokojové teplotě.

Chróm

- V mřížce Fe_3Al vytváří tuhý roztok a napomáhá k tvorbě oxidů.
- Vhodný do 6at.%.
- Zvýšení obsahu chrómu (nad 2%) vede ke zvýšení odolnosti proti oxidaci.
- Zvyšuje svařitelnost materiálu.
- Zvyšuje teploty fázových přechodů.
- Stabilizuje struktury B2 a D0_3 .
- Obsah 2–6 % Cr zdvojnásobí tažnost při pokojové teplotě.

Molybden

- Zlepšuje vysokoteplotní vlastností Fe_3Al .
- Zvyšuje teplotu fázového přechodu B2 - D0_3 .
- Za přítomnosti Niobu a malého množství Zirkonu dochází ke zvýšení do doby lomu a creepové odolnosti.

Měď

- Způsobuje křehkost.
- Zvyšuje mez kluzu a tvrdost.

Uhlík

- Zvyšuje tažnost a mez kluzu při pokojové teplotě.
- V minimální míře ovlivňuje zlepšení svařitelnosti.

Křemík

- Zvýšení pevnosti za vysokých teplot.
- Způsobuje křehkost.

Titan

- Za vyšších teplot zvyšuje pevnost.
- Významně zvyšuje kritickou teplotu.

Niob

- Zlepšuje svařitelnost.
- Mírně zvyšuje kritickou teplotu.

Cér

- Zlepšuje vysokoteplotní pevnost a tažnost.

Bór

- Zlepšuje tažnost.

Borid Titanu

- Zlepšuje tažnost a pevnost.
- Zhoršuje svařitelnost.
- Zjemňuje strukturu.

2.2.5 Svařitelnost [4], [17], [21], [23]

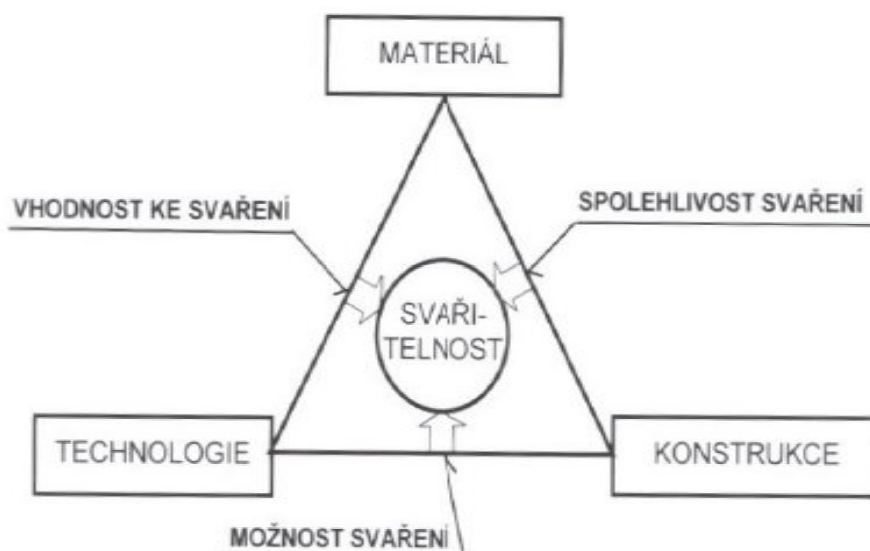
Všeobecné ustanovení svařitelnosti kovu a její hodnocení udává norma: ČSN EN ISO 5817. Tato norma uvádí vysvětlení pojmů - svařitelnost, vhodnost kovu ke svařování, technologická možnost sváření kovů, konstrukční spolehlivost svarového spoje a jejich zabezpečení základními faktory. Zkoušení a hodnocení svařitelnosti ocelí obloukovým svařováním nám udává norma: ČSN 5817.

Svařitelnost je ovlivňována několika faktory a jedním z nich je i příprava svarových ploch, u kterých je možné v zásadě vycházet normy ČSN EN ISO 5817-1, která obsahuje typy příprav svarových spojů pro svařování ocelí ručním obloukovým svařováním obalenou elektrodou, plamenovým svařováním, svařováním wolframovou elektrodou v inertním plynu a svařováním svazkem paprsků.

Další normou ovlivňující svařitelnost je ČSN EN ISO 5817-3, která se týká svařování hliníku a jeho slitin a parametrů charakterizujících přípravu svarových ploch a jejich sestavení.

Uvádí nejčastější tvary a rozměry, se kterými se můžeme setkat. V normě uvedená doporučení byla sestavena na základě zkušeností a obsahují rozměry svarových ploch, které zpravidla zajistí vhodné podmínky ke svařování. Předmětem této normy je stanovení typu svarových ploch pro svařování hliníku a jeho slitin, MIG a pro svařování wolframovou elektrodou v inertním plynu (WIG/TIG) [17].

„Svařitelnost je technologická vlastnost, kterou se rozumí komplexní charakteristika materiálu vyjadřující vhodnost kovu pro požadované svařované spoje předepsané jakosti a konstrukční spolehlivosti. Vhodnost kovu vyjadřuje změnu vlastností kovů v důsledku svařování.“ [27]. Je podmíněna těmito základními činiteli:



Obr. 2.29: Vlivy působící na svařitelnost [4]

Základní činitele podmiňující svařitelnost:

Vlastnosti základního svařovaného materiálu a svařovaného kovu:

- Chemické složení.
- Metalurgický způsob výroby.
- Mikrostruktura.
- Tepelné zpracování.
- Absorpce plynů.
- Vlastnosti a chování svařovaného materiálu za vysokých teplot.

Použitou metodou svařování a výrobními podmínkami:

- Tavné nebo tlakové svařování.
- Poloha svaru.
- Parametry svařování.
- Příprava a čistota svarových ploch.
- Ochrana svaru.

Konstrukcí svařence:

- Typy použitých svarů.
- Deformace svařence.
- Tloušťka svarových spojů.
- Zbytková napětí.

Svařitelnost aluminidu je ovlivněna několika podstatnými činiteli, vycházejícími z jejich specifických vlastností. Nejdůležitějšími činiteli, jež činí svařitelnost aluminidu obtížnou je vysoká křehkost a nízká tažnost za normální teploty. Tato křehkost je především způsobena obsahem vodíku v prostředí. Dalším nepříznivým faktorem je nízký součinitel tepelné vodivosti a vysoký koeficient teplotní roztažnosti, což vede k vnitřní napjatosti při svařování. Velmi nepříjemné jsou trhliny za studena, které se mohou vyskytnout i několik hodin, či dní po svařování.

Pro zlepšení svařování – dosažení lepší svařitelnosti se přidávají prvky jako např. niob, chrom a také malé množství uhlíku. Zirkon, bór naopak svařitelnost zhoršují.

Jednou z možností svařování aluminidu železa je minimalizace množství vneseného tepla, tj. svařování koncentrovanými zdroji tepla (laserové a elektronové svařování). Dalším způsobem je použití přehřevů v oblasti teplot, kdy materiál vykazuje přijatelné hodnoty plasticity (200 – 400 °C).

2.3 Monitorování svařovacího procesu [3], [24]

V dnešní době je mnoho různých druhů svařování, které se liší svými specifickými vlastnostmi, a i tak u všech těchto metod svařování najdeme společný cíl, jímž je maximální důraz na co největší kvalitu svarového spoje.

Svařování jako moderní vysoce produktivní výrobní technologie našlo uplatnění téměř ve všech průmyslových oborech. Zároveň však stále stoupají požadavky na kvalitu provedení svarových spojů. Svařované strojní součásti a ocelové konstrukce jsou běžně používány ve výrobě, přestože svary mnohdy bývají zdrojem inicializace trhlin a defektů, které mohou vést až k haváriím. Konstrukce by měla být navržena tak, aby byla s určitou pravděpodobností schopna užívání po celou dobu předpokládané životnosti, což vede k většímu počtu experimentálních, tzv. validačních svarů, které jsou provedeny před samotným svařováním skutečných strojních prvků. Toto zkoušení vede k navýšení nákladů při svařování.

Hlavním cílem používání numerických simulací svařování v průmyslu je stanovení deformace součástí a možnost vzniku vad na základě parametrů, jako je materiálová struktura, tvrdost, zbytkové napětí a celková plastická deformace. Dále numerické simulace umožňují detailní pochopení celého technologického procesu, protože dovolují nahlédnout na výsledky během procesu (deformace, struktura, napětí atd.), což převážná část experimentálních měření neumožňuje, nebo jen velmi omezeně.

Využití numerických simulací svařování zasahuje do všech oblastí strojírenství, pokrývá oblast těžkého průmyslu a energetiky (svařování tlakových nádob, uskladňovacích nádrží, stojanů, rotorů, potrubí, různých konstrukcí), automobilový průmysl (svařování podvozků, tenkých plechů např. karoserií), letecký průmysl, lodní průmysl. Samozřejmě je i hojně využíván při výzkumu a vývoji na vědeckých a univerzitních pracovištích. Numerickými simulacemi pomocí programu SYSWELD lze řešit následující technologie svařování: MAG, MIG, TIG, aj.

Numerické analýzy jsou velmi silným nástrojem během přípravy výroby a velice pružně reagují na změny v technologickém postupu, dále redukuje množství experimentálních zkoušek, což má za následek zlevňování výroby a samozřejmě i zvyšování kvality.

2.3.1 Sysweld [3], [24]

Programový soubor Sysweld je specializovaný produkt založený na metodě konečných prvků. Sysweld umožňuje plně zahrnout problematiku fázových přeměn materiálů a provést tak realistický popis dějů probíhajících při svařování. Umožňuje výpočet teplotních polí, metalurgické struktury, deformací, zbytkových napětí a dalších veličin. Disponuje širokou paletou vyspělých prostředků, které uživateli usnadňují definici a kontrolu vstupních

dat, např. materiálových vlastností, tepelných účinků procesu na materiál apod. Přitom je možné analyzovat široké spektrum procesů od elektrického obloukového svařování přes moderní technologie jako svařování laserem nebo svařování elektronovým paprskem až po silně specifické procesy, jako je např. bodové svařování.

2.3.2 WeldMonitor [24]

Pro zefektivnění a optimalizaci výroby, dále pro zajištění co nejvyšší kvality svarového spoje a sledování celého procesu svařování se provádí monitoring pomocí systému WeldMonitor.

Popis systému:

- WeldMonitor hardware
- WeldMonitor software

WeldMonitor hardware

WeldMonitor je systém umožňující připojení k libovolnému svařovacímu zdroji, a také lze připojit k řídicímu počítači. V procesu svařování je možné vytvářet rychlý záznam průběhu svařovacího proudu a napětí. Tento záznam je důležitou součástí pro spolehlivou diagnostiku zkratových, impulsových a sprchových svařovacích procesů. V základním provedení systému jsme schopni pozorovat (monitorovat) průběh svařovacího proudu a napětí. V současnosti je dostupná i rozšířená verze systému WeldMonitor, která má mnoho dalších funkcí pro kvalitnější pozorování. Mezi tyto funkce patří například rychlost posuvu a spotřeba svařovacího drátu, rychlost průtoku a spotřeba plynu vytvářejícího ochranou atmosféru, dále atmosférické podmínky při svařování (teplota a vlhkost vzduchu). Výhodou je možnost pozorování svařovacích parametrů z více svařovacích strojů najednou. Využití tohoto systému díky své odolnosti proti průmyslovému rušení je možné i při automatizovaném procesu.

Přehled jednotlivých snímačů:

- Modul pro ovládání programu.
- Modul pro snímání napětí a proudu.
- Snímač relativní vlhkosti vzduchu a okolí.
- Snímač teploty vzduchu v okolí.
- Snímač teploty materiálu (přenosný, stabilní).
- Snímač posuvu drátu.
- Snímač rychlosti pojezdu.
- Snímač průtoku plynu.



Obr. 2.30: WeldMonitor hardware [24]

WeldMonitor software

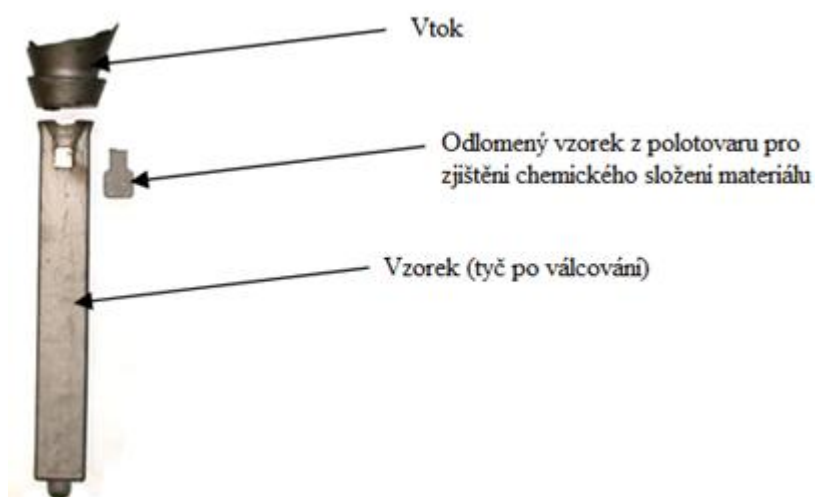
Zajišťuje spolehlivý záznam měřených průběhů. Umožňuje velice sofistikované zobrazování reálně nasnímaných veličin. Obsahuje diagnostiku v reálném čase, evidenci, dokumentaci a databázovou zprávu. Dále je možno stanovit náklady svarových spojů pro výrobek, přehled svářečů a protokol přezkoušení. Do protokolu lze začlenit jiné než uvedené protokoly podle individuálních požadavků odběratele.

Program má intuitivní ovládání a umožňuje profesionálně zobrazovat výsledky reálných nasnímaných dat. Je určen pro moderní platformu operačního systému Windows s velmi dobrými, jednotlivými grafickými výstupy jednotlivých tiskových protokolů. Je zde zakomponovaná otevřená databáze firem, svářečů a jejich zkoušek, zařízení (zdrojů, které podléhají validaci a kalibraci), základních materiálů, přídatných materiálů, plynů, dozoru svařování, postupů svařování a záznamy průběhu svařování jednotlivých svarů s možností uložení digitální fotografie.

3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

3.1 Cíl práce a charakteristika základního materiálu

Úkolem experimentální části bakalářské práce bylo realizovat ručním svařováním vybrané typy svarů aluminidu železa metodou ISO 4063-141. Pro hodnocení svarových spojů bude rozhodující geometrie a celistvost spoje. Svary byly realizované na aluminidu železa typu Fe₃Al. Polotovar pro zhotovení vzorků byl vyroben válcováním z odlité tyče (Obr. 3.1) o rozměrech 30x40x350mm. Pro tavbu byla použita pec Leybold Heraeus, která umožňuje vložení vsázky skrze vakuové předpecí. Vyzdívka kelímku pece je z Al₂O₃+ MgO (20) Luekorma 10UID. Durentrup Feuerfestprodukte GmbH byla použita jako dusací hmota. Po roztavení vsázky bylo v peci vakuum 6.10⁻² mbar a teplota 1370° C (měření pyrometrem bez korekce). Při odlévání bylo použito vakuum 5.10⁻¹ mbar. Odlévání se realizovalo do keramické samonosné skořepinové formy vyrobené metodou vytavitelného modelu. Jako zásypový materiál se používal molochit (Imerys Mineralis Limited-England Molochite-200), celkem 6 vrstev. Po vysušení a vytavení vosku byla forma pro odlévání připravena vypálením v peci s teplotou 1000° C po dobu 4 hodin. Po vyjmutí z pece se skořepina přemístila do vakuové komory a provedlo se odlití. Po odlití byla forma zakryta izolačním materiálem (Sibralem). Po ochlazení na teplotu 250° C se provedlo vytloukání a otryskání odlitku pomocí niklových broků.



Obr. 3.1: Polotovar pro zhotovení vzorků

Odlitá tyč je aluminid železa se směrným chemickým složením **15,9% Al, 5,5% Cr, 1% Nb, 0,05%C a zbytek Fe** v hmotnostních %. V tabulce č. 3.1 je uvedeno složení vsázky.

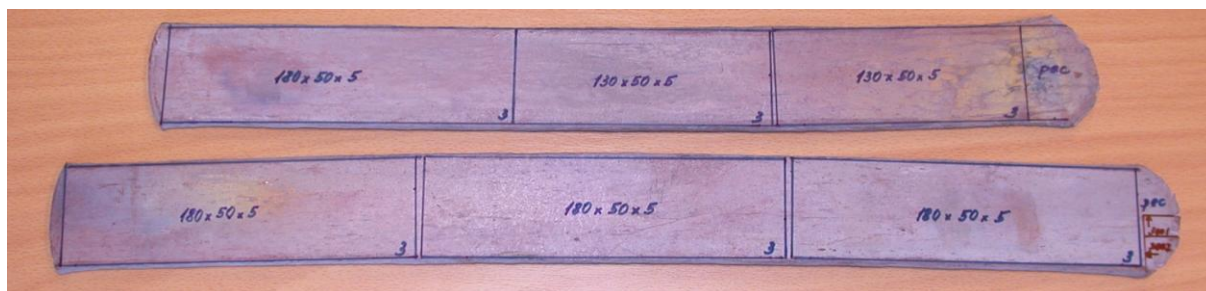
Tab. 3.1 Materiál pro vsázku

Surovina	Hmotnost (kg)
Předslitina Ferochrom Fe – Cr (70%) 0,03 %C	0,83
Předslitina Feroniob Fe – Nb (60%)	0,20
Arema	7,27
Al (čtyřdevítkový)	1,62

Na obr. 3.2 je pohled na výchozí desku zhotovenou válcováním z odlité tyče č. 6 a na obr. 3.3 na desky zhotovené z tyče č. 3. Postup válcování tyčí je v tabulce č. 3.2, kde jsou uvedeny postupně realizované úběry tloušťky. V každé operaci se vždy provedly dva úběry. Na deskách je označena poloha vzorků ke svařování, které se oddělily rozbroušením ruční bruskou.



Obr. 3.2: Výchozí vzorky z tyče 6



Obr. 3.3: Výchozí vzorky z tyče 3

Po válcování byly tyče pro vzorek č. 6 uloženy do pece vyhřáté na 800°C po dobu 2 hodin a následně byly tyče zakaleny v oleji.

Tyče pro vzorek č. 3 byly po válcování vloženy do předehřáté pece na teplotu 800°C, výdrž po dobu 2 hodin a chlazení se realizovalo ve vypnuté peci do teploty 250°C. Potom se vzorky vyjmulý z pece a další chlazení probíhalo v izolačním zábalu Sibrálu.

Tab. 3.2 Postup válcování

Původní tloušťka	úběr →	← úběr	Konečná tloušťka	Čas dohřevu (min)
30	2	2	26	30
26	2	2	22	30
22	2	2	18	25
18	2	2	14	25
14	1,5	1,5	11	20/stříhání
11	1	1	9	25
9	1	1	7	25
7	1	1	5	25
5	1	2	3	

3.2 Svařovací pracoviště

Svařování vzorků probíhalo ve svařovací laboratoři, jehož součástí je i pracoviště pro mechanizované svařování metodou ISO 4063-141. Celkový pohled na svařovací pracoviště je na obr. 3.4.



Obr. 3.4: Svařovací pracoviště



Obr. 3.5: NAVIGATOR 3000 AC/DC

Pracoviště je vybaveno svařovacím zdrojem Migatroni NAVIGATOR 3000 AC/DC (Obr. 3.5) a lahví se stlačeným ochranným plynem (argon 4.8). Jedná se o kompaktní třífázové invertorové svařovací zařízení, které je možné použít jak v dílně, nebo laboratoři, tak i při montážích. Pomocí tohoto zdroje je možné svařit ocel, měď, ale daleko více je NAVIGATOR

3000 AC/DC využíván pro svařování hliníku a jeho slitin metodou 141 střídavým proudem, (max.300A). Pro snazší manipulaci je součástí zdroje pojezdový vozík. Regulaci svařovacího proudu je možné provádět přímo na rukojeti hořáku. Veškeré změny, které mohou nastat při procesu svařování, jsou lehce odhalitelné a můžeme na ně pružně reagovat díky digitálnímu řízení zdroje. Celé zařízení je vybaveno širokou škálou svařovacích programů pro efektivní způsob svařování.

Vzorky pro svařování lze předeheřovat a upevňovat na upínací desce, která slouží pro sestavení vzorků do potřebné polohy. Na upínací desce je vyfrézovaná drážka (8mm), do které se pro formování a ochranu kořene svaru může nasypat tavidlo. Pro monitorování svařovacího procesu slouží měřicí aparatura WeldMonitor a počítač s potřebným softwarem. Ve vybraných místech je možno sledovat průběh teploty pomocí termočlánků. Termočlánky se k měřicím místům upevňují kondenzátorovým výbojem. Pro dohřev slouží elektrická odporová pec.

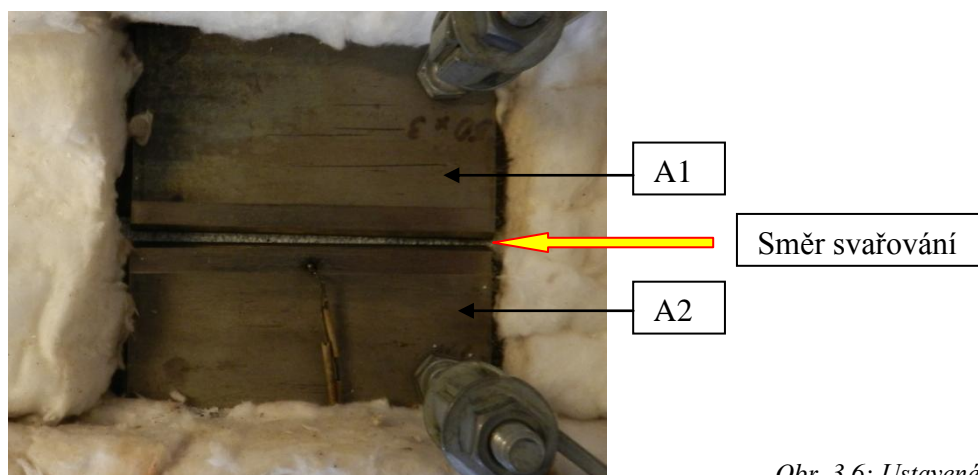
3.3 Realizace zkušebních svarů

Pro realizaci zkušebních svarů byly použity vzorky odebrané z tyčí č. 6. a č. 3. Polotovary z tyče č. 6 měly rozměr 180x50x4 mm a z tyče č. 3 130x50x6 mm. Na obr. 3.2 a 3.3 je uvedená tloušťka vždy o 1mm menší, neboť tloušťka byla na vzorky napsaná ještě před proměřením, pouze podle údajů z ukazatele tloušťky na válcovací stoličce. Před svařováním byly vzorky v místě budoucího svaru z obou stran mechanickým způsobem ručně očištěny od oxidů pomocí pilníku. Potřebné úkosity byly zhotoveny ručním broušením. Broušení bylo postupné, aby nedošlo k nežádoucímu ohřevu celého vzorku. V průběhu svařování byla posuzována stabilita elektrického oblouku a vliv nastavených parametrů svařování na chování svarové lázně i čistící efekt elektrického oblouku.

Realizace svaru č. 1 – tupý svar typu V

Pro zhotovení svaru č. 1 byl použit plech s rozměrem 180x50x4 mm. Plech byl v polovině délky rozdělen na zařízení Delta AbrasiMet. Zkušební vzorky měly skutečnou velikost 89x50x4 mm. Na obou vzorcích označených pro snadnější identifikaci A1 a A2 byl úkos 45° do poloviny tloušťky tj. otupení svaru činilo 2mm. Před svařováním se vzorky upnuly na vyhřívanou nerezovou desku, v jejíž drážce bylo pod vzorky nasypáno tavidlo EN 760 – SF AB 1 65 AC. Vzorek A1 byl upnut pevně, zatímco vzorek A2 byl upnutý pouze na konci, kde se začínalo svařovat. Styčná mezera mezi vzorky na začátku svaru činila 2 mm a

na konci budoucího svaru 3mm. Poloha vzorku A2 se mohla v průběhu svařování v důsledku vznikajících deformací měnit a rozevření se postupně zmenšovalo. Pohled na vzorky umístěné na vyhřívané upínací desce je na obr. 3.6.



Obr. 3.6: Ustavené vzorky A1 a A2

Teplota předehřevu byla zvolena 300°C. Vzorky na upínací desce byly během předehřívání přikryté Sibralem. Teplota předehřevu se sledovala pomocí termočlánku umístěnému na vzorku A2. Po dosažení teploty 300°C byl izolační kryt odstraněn, bylo zapnuto monitorovací zařízení a realizoval se svar v poloze PA podle ISO 6947. Jako přídavný materiál byly použity tyčky z aluminidu typu Fe₃Al legovaného Ce s průřezem 2,8x2,8 mm. Svar byl realizován s níže uvedenými parametry:

Svařovací parametry a podmínky realizace svaru:

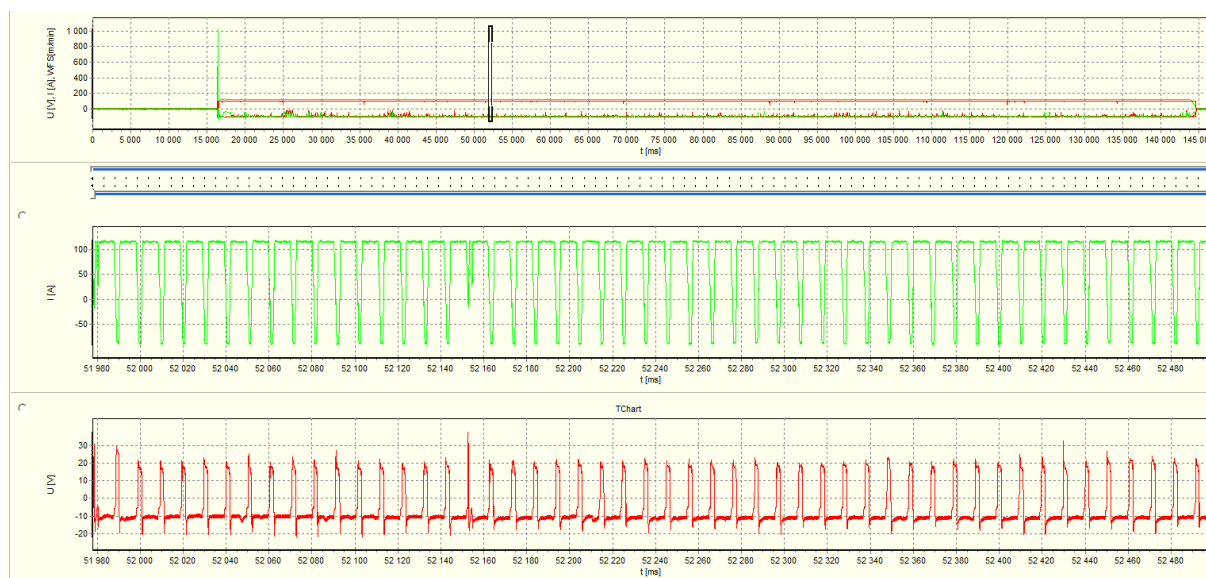
Střídavý proud:	100A
Frekvence:	100Hz
Balance proudu a času:	80%
Elektroda:	WT 20 – průměr 3,2mm, úhel 60°
Ochranný plyn:	Argon 4.8, 15 l/min

Uvedené hodnoty balance času a proudu znamenají, že čas a proud při půlperiodě s kladnou polaritou na elektrodě je snížen na 80 % z důvodu snížení namáhání elektrody.

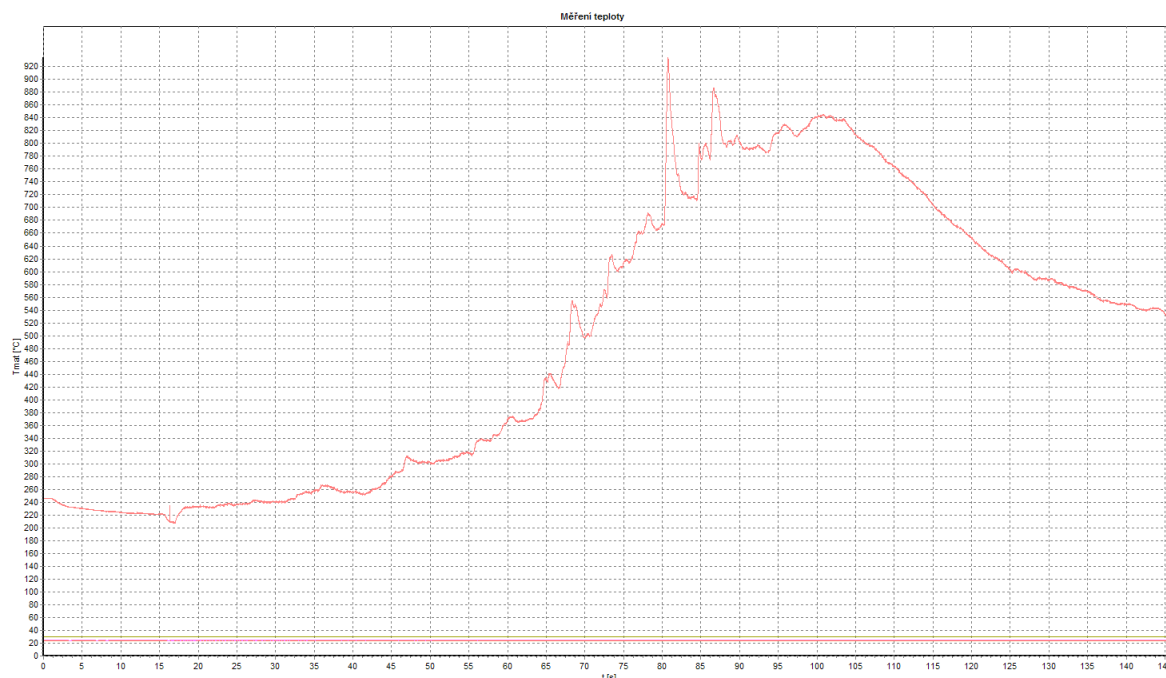
Po skončení svařování byl svařený vzorek okamžitě umístěn do pece vyhřáté na 700°C. Po výdrži 2 hodin byla pec vypnuta. Vzorek byl z pece vyjmut při teplotě 50°C.

Na obr. 3.7 je záznam průběhu svařovacích parametrů z WeldMonitoru. S využitím časové lupy je vidět záznam proudu a napětí v úseku vyznačeném na horním záznamu.

Ze záznamu je zřejmá funkce nastavené balance. Svařovací proud je v období kladné polarity na elektrodě nižší a čas půlvlny kratší. Systém DOC navíc v určitých fázích procesu kladnou půlvlnu vyřadí nebo navíc zkracuje. Záznam průběhu teploty z kontrolního termočlánku je na obr. 3.8.



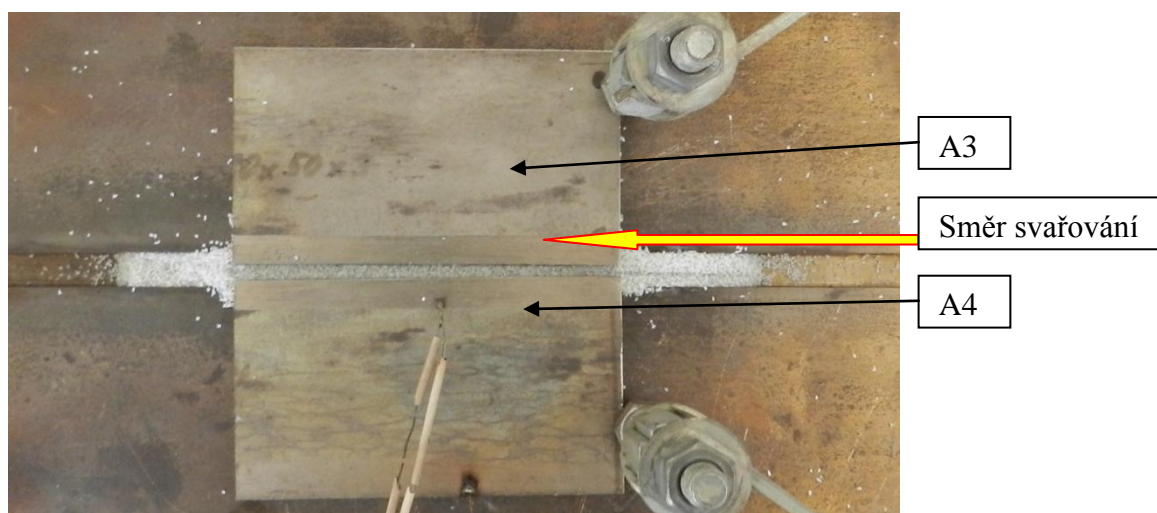
Obr. 3.7: Průběh svařování-zaznamenané hodnoty z WeldMonitoru, svar č. 1



Obr. 3.8: Průběh teploty u kontrolního termočlánku

Realizace svaru č. 3 – tupý svar typu I

Pro zhotovení svaru č. 3 byl opět použit plech s rozměrem 180x50x4 mm. Plech byl v polovině délky rozdělen na zařízení Delta AbrasiMet. Zkušební vzorky měly skutečnou velikost 89x50x4 mm. Vzorky byly pro snadnější identifikaci označeny A3 a A4. Před svařováním se vzorky upnuly na vyhřívanou nerezovou desku, v jejíž drážce bylo pod vzorky nasypáno tavidlo EN 760 – SF AB 1 65 AC. Vzorek A3 byl upnut pevně, zatímco vzorek A4 byl upnut pouze na konci, kde se začínalo svařovat. Styčná mezera mezi vzorky na začátku svaru činila 2mm a na konci budoucího svaru 3mm. Poloha vzorku A4 se mohla v průběhu svařování v důsledku vznikajících deformací měnit a rozevření se postupně zmenšovalo. Pohled na vzorky umístěné na upínací desce je na obr. 3.9.

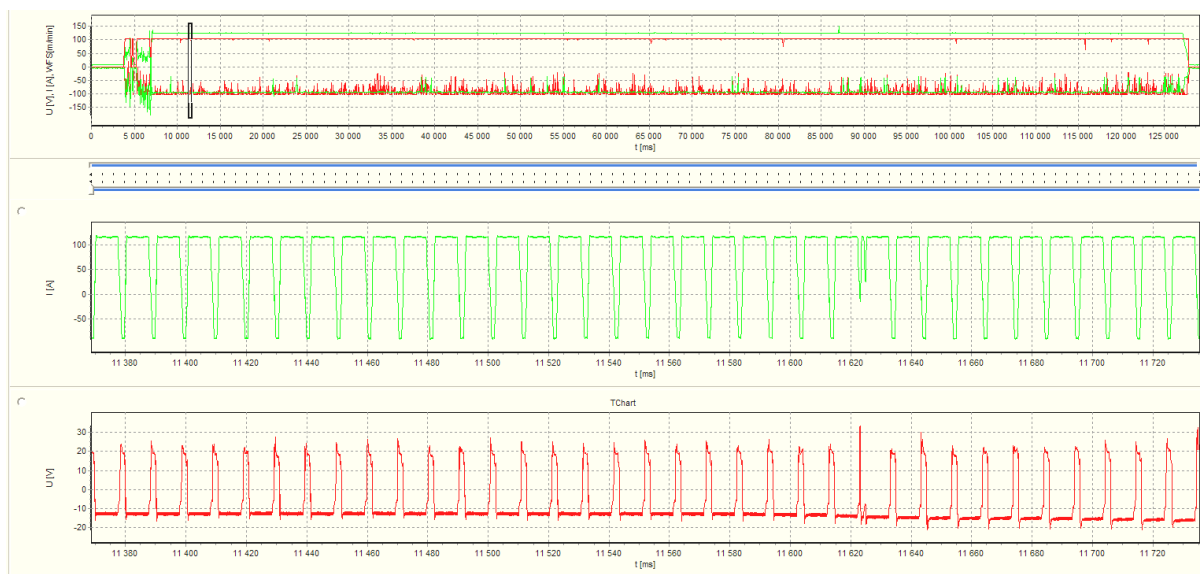


Obr. 3.9: Ustavené vzorky A3 a A4

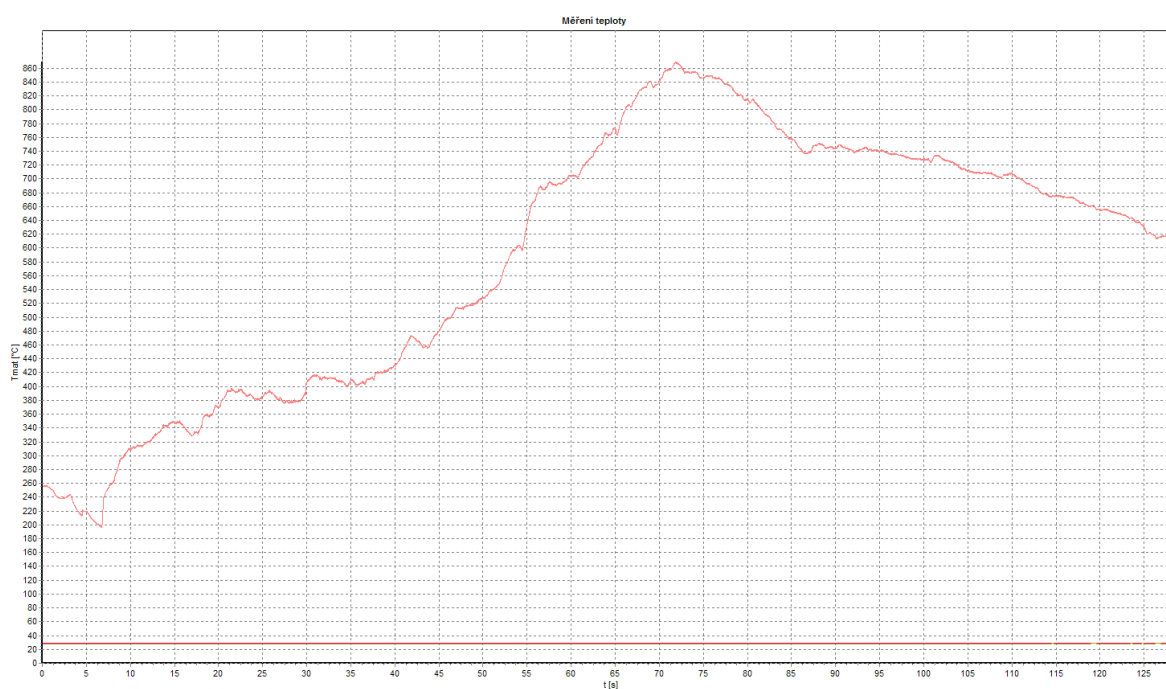
Na vzorek A4 byl upevněn termočlánek pro zaznamenávání průběhu teploty. Teplota přehřevu byla zvolena o 50°C nižší než u svaru č. 1, tj. 250°C, vzhledem k předpokládané rychlejší manipulaci se zařízením od odkrytí izolačního krytu do začátku vlastního svařování. Podmínky svařování a svařovací parametry byly shodné jako u svaru č. 1. Rozdíl byl pouze v použitém přídavném materiálu. Jako přídavný materiál se použil odporový drát Kantal o průměru 3mm. Manipulace se svařeným vzorkem po skončeném svařování byla shodná jako u svaru č. 1.

Na obr. 3.10 je snímek záznamu časových průběhů svařovacích parametrů u svaru č. 3 z monitorovacího zařízení WeldMonitor. S využitím časové lupy je vidět záznam proudu

a napětí v úseku vyznačeném na horním záznamu. Na obr. 3.11 je záznam průběhu teplot z kontrolního termočláčku.



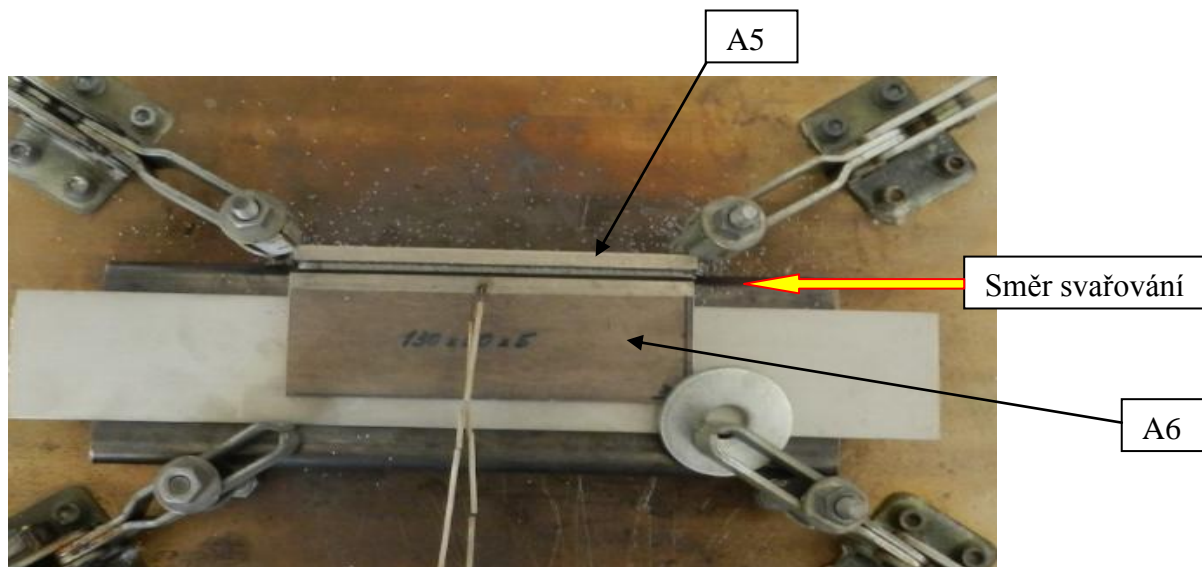
Obr. 3.10: Průběh svařování-zaznamenané hodnoty z WeldMonitoru, svar č. 3



Obr. 3.11: Průběh teploty u kontrolního termočláčku

Realizace svaru č. 2 – rohový 1/2V svar a koutový svar

Rohový spoj byl realizován na polotovarech o rozměru 130x50x6 mm. Na jednom z dílů byl vytvořen úkos 45° do poloviny tloušťky materiálu. Svařování se realizovalo na vyhřívané desce. Pro sestavení dílů byl použit profil jákl 80/40/3 a podložný plech tl. 2mm. Pohled na sestavené plechy je na obr. 3.12. Kořenová mezera činila 2mm. Pod kořenem svaru bylo opět nasypáno tavidlo EN 760 – SF AB 1 65 AC.



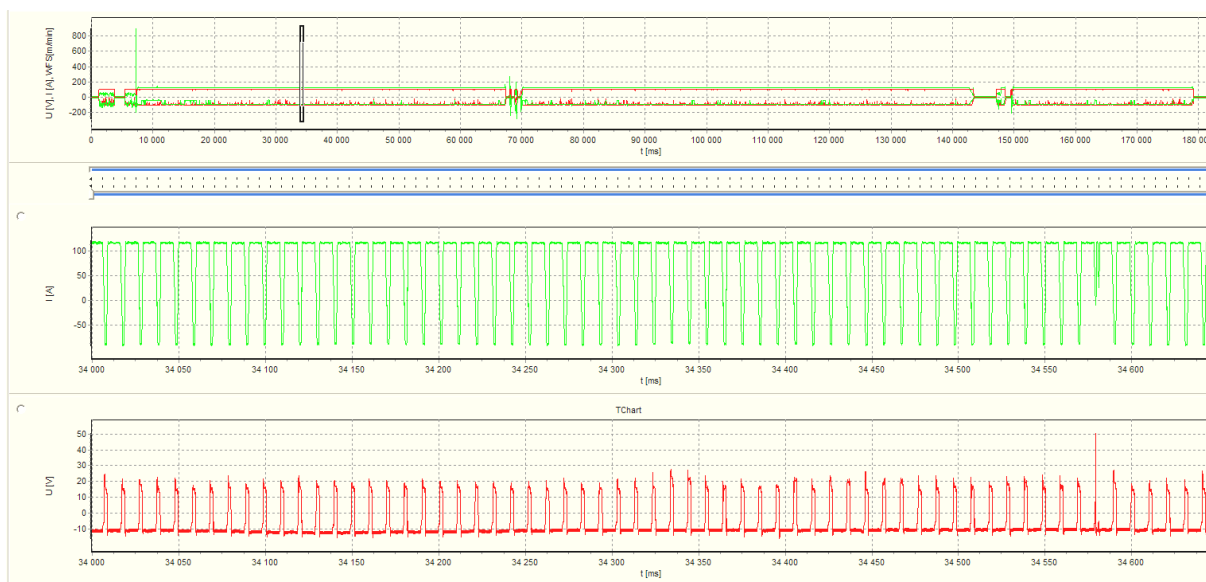
Obr. 3.12: Ustavené vzorky A5, A6

Na vzorku A6 byl přivařen termočlánek pro zaznamenávání průběhu teploty a kontrolu teploty předehřevu. Teplota předehřevu byla opět 250° C. Podmínky svařování a svařovací parametry byly v souladu s realizací svaru č. 1, stejně tak manipulace se vzorkem po skončení svařování. Po vychladnutí svaru a následné kontrole bylo zjištěno, že svar není správně proveden a kvalitní není ani lícová strana svaru. Proto bylo rozhodnuto, že lícní strana svaru bude opravena se stejnými svařovacími parametry a za stejných podmínek jako první housenka. Po realizaci opravného svaru a jeho kontrole po vychladnutí svarku bylo konstatováno, že kořen svaru není všude proveden. Pohled na neprovařený kořen svaru je na obr. 3.13. Proto bylo rozhodnuto o realizaci podložného koutového svaru opět za stejných podmínek a se stejnými svařovacími parametry jako u první housenky.



Obr. 3.13: Neprovařený kořen svaru

Na obr. 3.14 je snímek záznamu svařovacích parametrů, včetně úseku s použitím časové lupy, z WeldMonitoru při svařování první housenky.



Obr. 3.14: Průběh svařování - zaznamenané hodnoty z WeldMonitoru, svar č. 2, první housenka

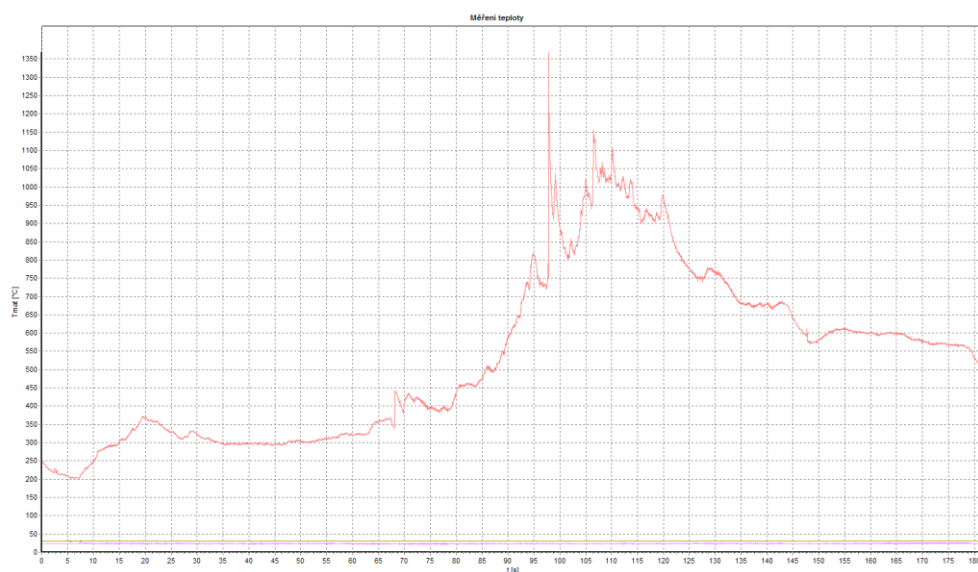
Jak lze účelně pomocí časové lupy hodnotit oblasti s nestabilním svařovacím procesem je zřejmé z obr. 3.15. Na obrázku je část záznamu z období, kdy došlo ke zhasnutí elektrického oblouku a oblouk byl znovu opakovaně nastartován. Obdobný záznam je i z podobné oblasti na obr. 3.16. Na obr. 3.17 je záznam průběhu teploty z kontrolního termočlánku při realizaci první housenky.



Obr. 3.15: Průběh svařování-zaznamenané hodnoty z WeldMonitoru, svar č. 2, první housenka, oblast nestabilního procesu

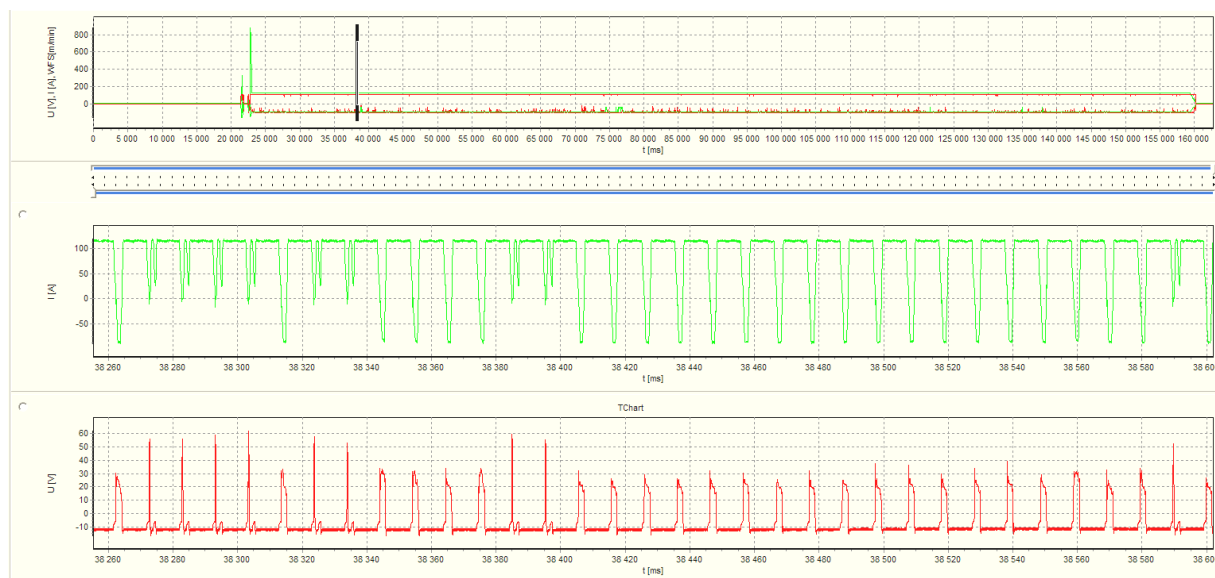


Obr. 3.16: Průběh svařování-zaznamenané hodnoty z WeldMonitoru, svar č. 2, první housenka, oblast nestabilního procesu.

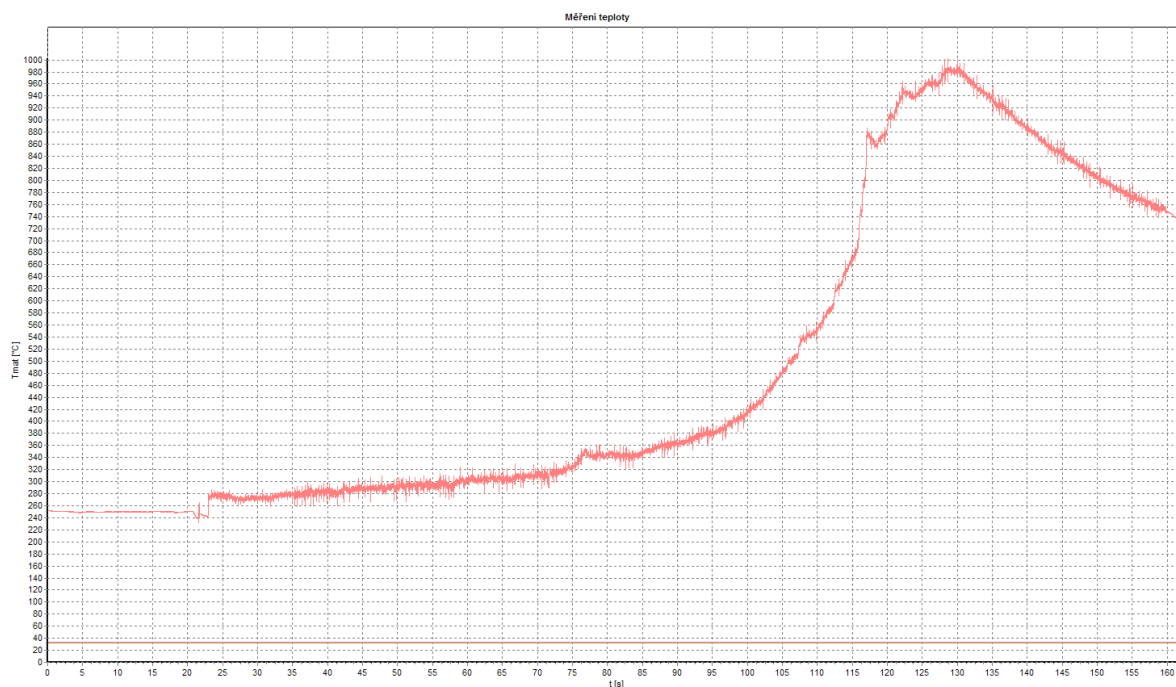


Obr. 3.17: Záznam průběhu teploty u kontrolního termočlánku - první housenka

Na obr. 3.18 je snímek záznamu svařovacích parametrů (včetně části s využitím časové lupy) při zhotovení opravné housenky na lící straně svaru. Na obr. 3.19 je záznam teploty u kontrolního termočlánku. Svařovací proces byl předčasně ukončen a vypnuto bylo i záznamové zařízení. Proto bylo zařízení zapnuto znovu a svar byl dokončen. Záznamy z této části realizace svaru jsou na obr. 3.20 a 3.21.



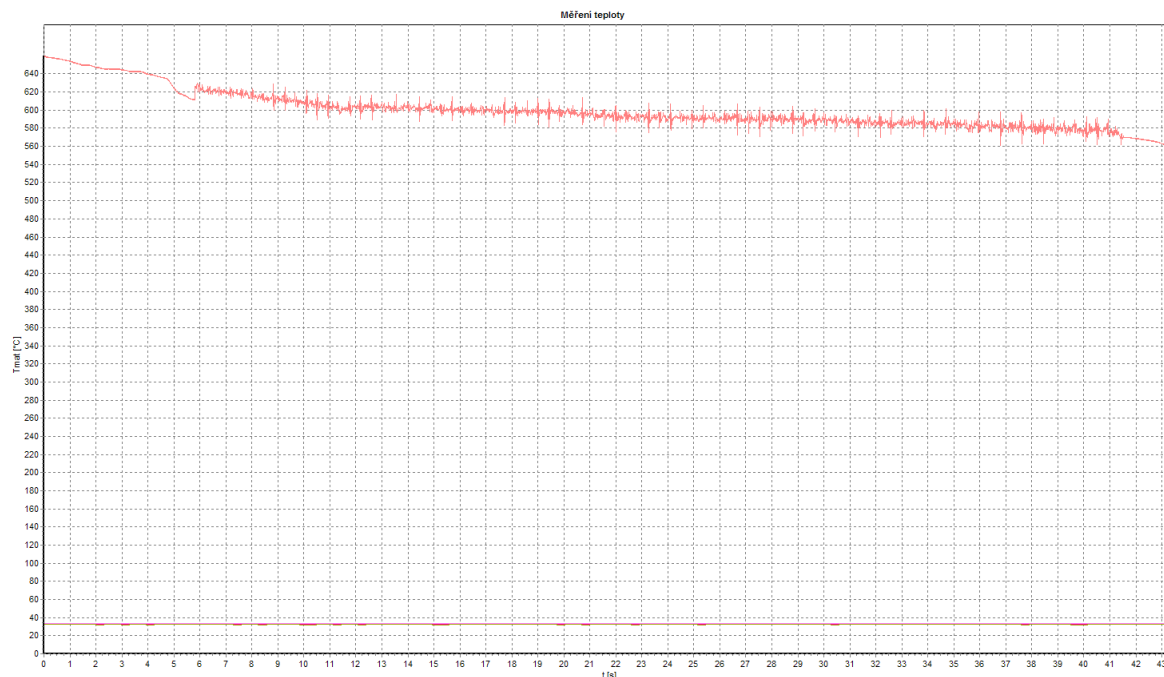
Obr. 3.18: Průběh svařování-zaznamenané hodnoty z WeldMonitoru, svar č. 2, druhá housenka, začátek



Obr. 3.19: Záznam průběhu teploty u kontrolního termočlánku - druhá housenka, začátek

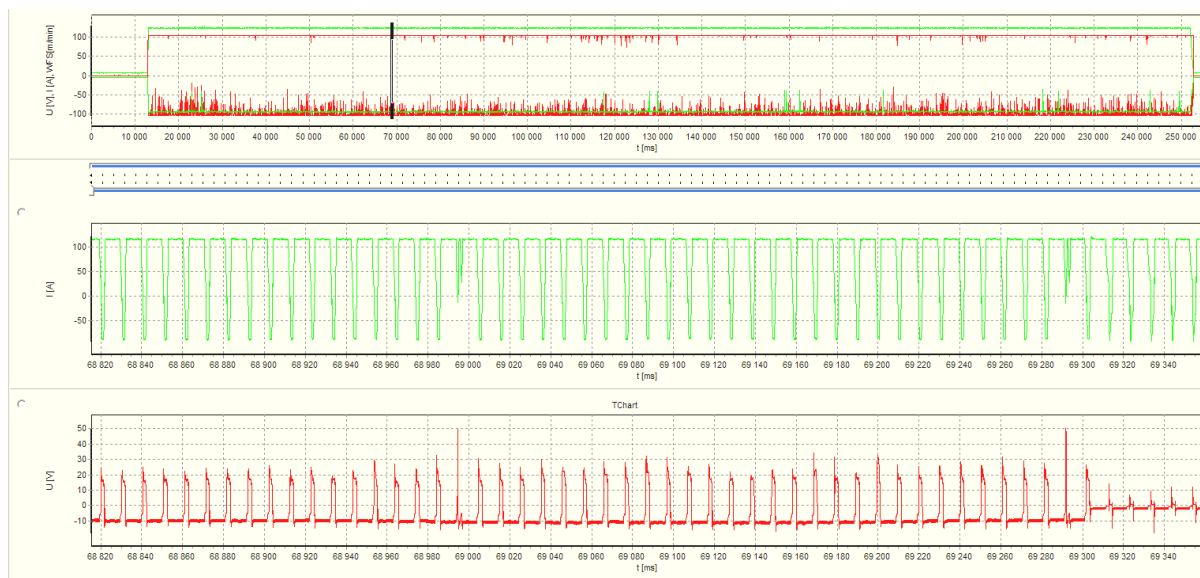


Obr. 3.20: Průběh svařování-zaznamenané hodnoty z WeldMonitoru, svar č. 2, druhá housenka, konec

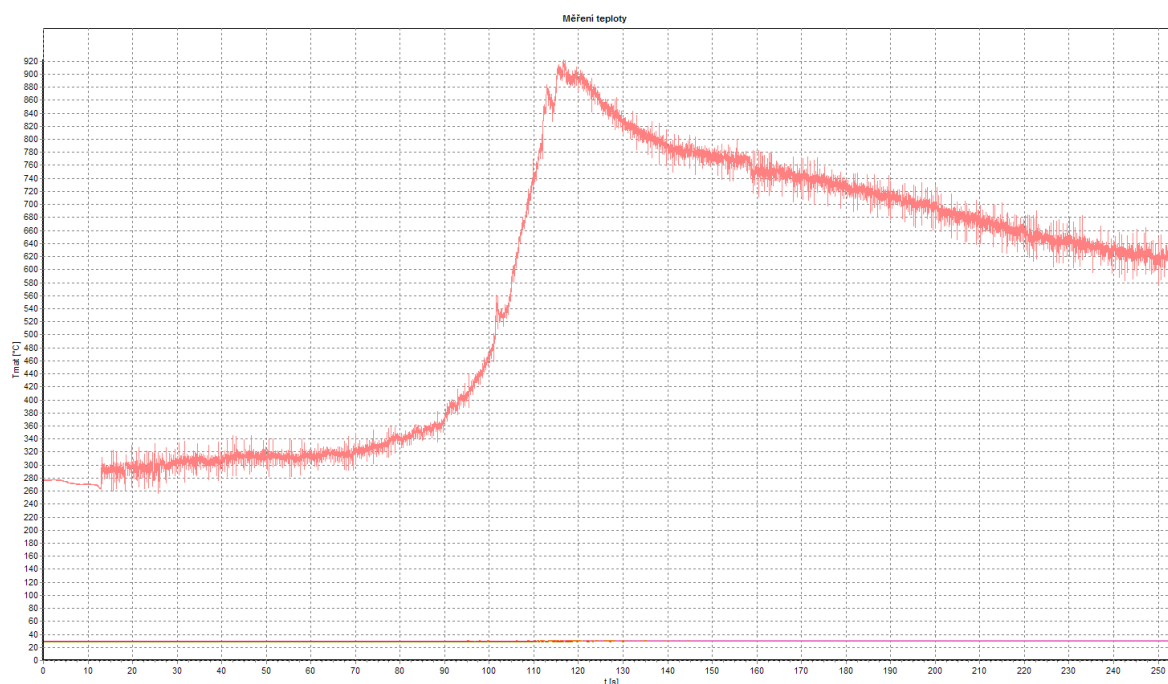


Obr. 3.21: Záznam průběhu teploty u kontrolního termočláčku-druhá housenka, konec

Svaření vzorku č. 2 bylo dokončeno realizací koutového svaru na rubu předchozích housenek. Veškeré podmínky a svařovací parametry byly stejné jako u prvních dvou housenek. Stejný byl i postup a manipulace se vzorkem po skončení svařování. Na obr. 3.22 je záznam svařovacích parametrů z WeldMonitoru a na obr. 3.23 záznam průběhu teploty na kontrolním termočláčku.



Obr. 3.22: Průběh svařování-zaznamenané hodnoty z WeldMonitoru, svar č. 2, třetí housenka

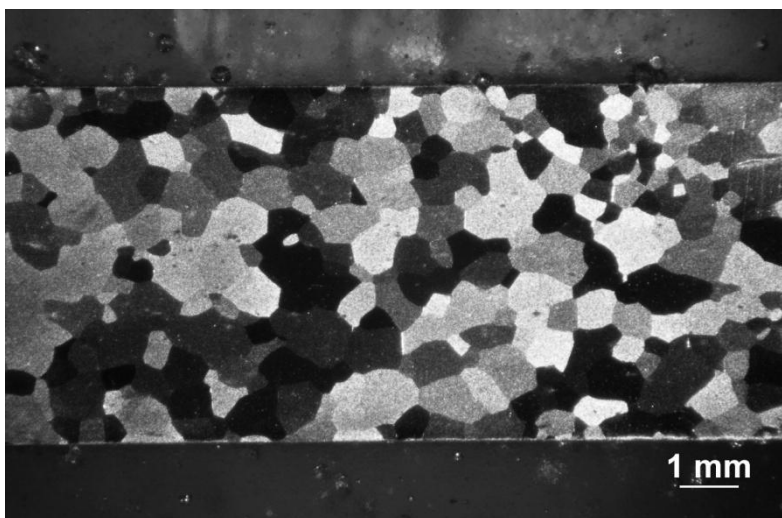


Obr. 3.23: Záznam průběhu teploty u kontrolního termočlánku-třetí housenka

3.4 Vyhodnocení zkušebních svarů

Hodnocení realizovaných svarových spojů bylo zaměřeno především na posouzení makrostruktury svaru a hodnocení celistvosti. Vždy byla nejprve provedena vizuální kontrola. Z realizovaných svarových spojů byly připraveny metalografické výbrusy. Vzorky pro metalografický rozbor byly ze svaru odděleny mechanickým způsobem na zařízení Delta AbrasiMet. Vzorky byly odmaštěny acetonem a zapouzdřeny do formy. Metalografické výbrusy byly připraveny obvyklým způsobem na zařízení Phoenix 4000.

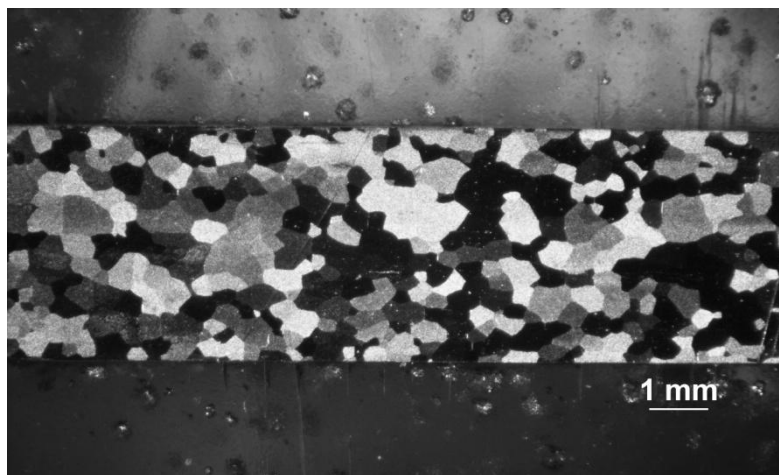
Metalografické výbrusy byly připraveny i z výchozích desek, ze kterých se oddělovaly vzorky pro svařování. Na obr. 3.24 je v šikmém osvětlení struktura plechu tloušťky 6mm vyrobeného z tyče č. 3. Vzorek pro metalografický výbrus byl odebrán ve směru válcování. Struktura je hrubá, polyedrická, po válcování došlo k rekrystalizaci struktury. Pro naleptání struktury bylo použito leptadlo ROLLASON (5g chlorid železitý, 10 ml H₂O dest., 50 ml HCl). Pozorování vzorku bylo realizováno na mikroskopu NEOPHOT 21.



10 x

Obr. 3.24: Makrostruktura základního materiálu – plech z tyče č. 3

Na obr. 3.25 je v šikmém osvětlení struktura plechu tloušťky 4mm vyrobeného z tyče č. 6. Vzorek pro metalografický výbrus byl odebrán ve směru válcování. Struktura je hrubá, polyedrická, po válcování došlo k rekrystalizaci struktury. Ve srovnání s předchozím snímkem je struktura jemnější.



10 x

Obr. 3.25: Makrostruktura základního materiálu – plech z tyče č. 6

Hodnocení svaru č. 1 – tupý svar typu V

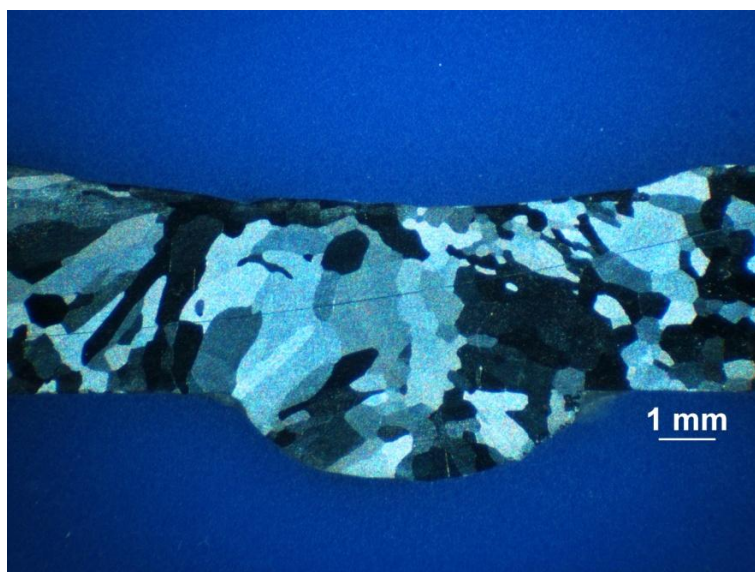
Místo odběru vzorku pro metalografický rozbor svaru č. 1 je vidět na obr. 3.26. Vzorek byl odebrán mechanickým způsobem na zařízení Delta AbrasiMet.



Poloha metalografického výbrusu

Obr. 3.26: Místo odběru vzorku pro metalografický rozbor svaru č. 1

Na obr. 3.27 je snímek makrostruktury svaru č. 1 v šikmém osvětlení. Povrch svaru je mírně propadlý, kořen svaru je provařený. Struktura svaru je hrubá, hranice ztavení nezřetelná. V ovlivněném pásmu základního materiálu nelze z provedeného pozorování usoudit na žádné změny.



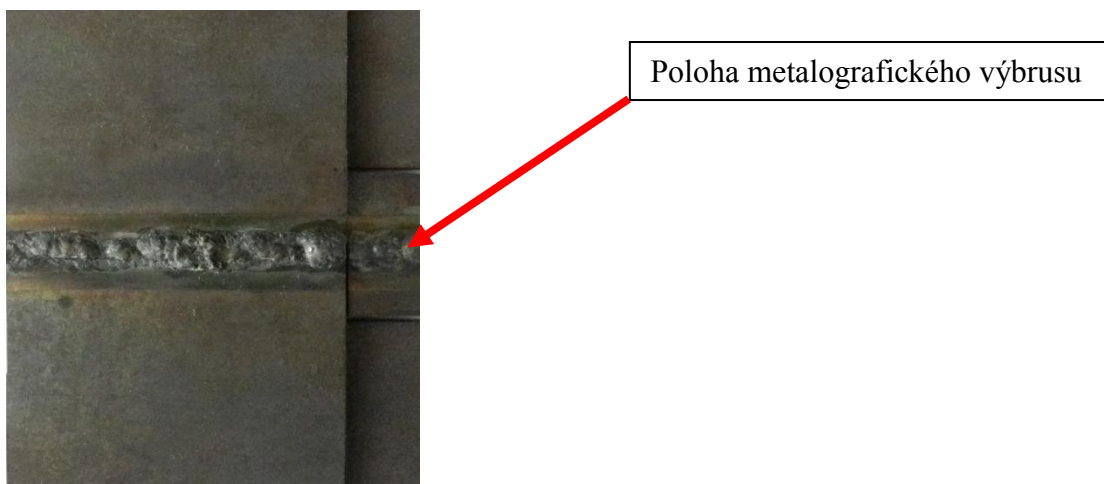
10x

Obr. 3.27: Makrostruktura svaru č. 1

Svarový spoj č. 1 lze pokládat za vyhovující. Ve vzorku nedošlo k výskytu trhlin a realizovaným svařovacím procesem ani následným dohřevem na teplotě 700°C nedošlo k výrazným změnám v charakteru struktury v porovnání s výchozím stavem základního materiálu.

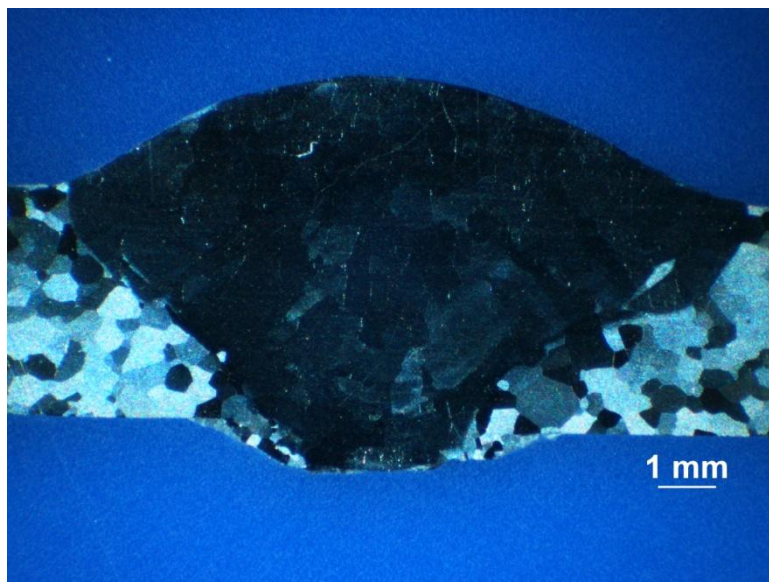
Hodnocení svaru č. 3 – tupý svar typu I

Místo odběru vzorku pro metalografický rozbor svaru č. 3 je vidět na obr. 3.28. Vzorek byl odebrán mechanickým způsobem na zařízení Delta AbrasiMet. Na snímku je pohled ze strany kořene svaru. Kořen svaru je nerovnoměrně provařený.



Obr. 3.28: Místo odběru vzorku pro metalografický rozbor svaru č. 3

Na obr. 3.29 je snímek makrostruktury svaru č. 3. Při zhotovení snímku je použito šikmé osvětlení.



10x

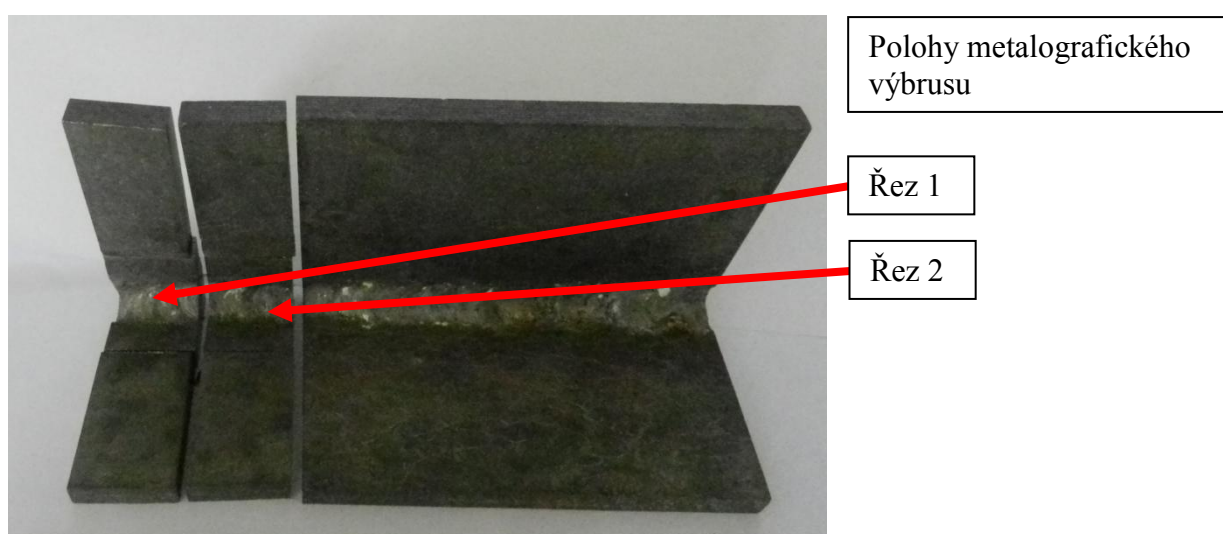
Obr. 3.29: Makrostruktura svaru č. 3

Vzhledem k použitému typu přídavného materiálu (Kantal) se svarový kov spoje leptá výrazně pomaleji a při pozorování v šikmém osvětlení se jeví tmavě. V hodnoceném místě je

kořen dobře provařený, hranice ztavení je zřetelná, svar je převýšen cca o 2mm. Ve vzorku nedošlo k výskytu trhlin. V ovlivněném pásmu základního materiálu nedošlo k pozorovatelným strukturním změnám. Svarový spoj lze pokládat za vyhovující, i když kořen svaru není rovnoměrně provařený.

Hodnocení svaru č. 2 – rohový 1/2V svar a koutový svar

Místo odběru vzorku pro metalografický rozbor svaru č. 2 je vidět na obr. 3.30. Vzorek byl odebrán mechanickým způsobem na zařízení Delta AbrasiMet.



Obr. 3.30: Místo odběru vzorku pro metalografický rozbor svaru č. 2

Na obr. 3.31 je snímek makrostruktury svaru č. 2 v místě řezu 1. V oblasti kořene svaru nedošlo k provaření ani při opravách svaru a vytvoření koutového svaru. Hranice ztavení nejsou příliš zřetelné, při zhotovení snímku je použito šikmé osvětlení.

Na obr. 3.32 je snímek makrostruktury svaru č. 2 v místě řezu 2. Obraz je složený ze dvou snímků, aby byl pohled na svar ucelený. Svar je v tomto místě bez vady neprovaření kořene. V oblasti líce je mírně převýšený. Hranice ztavení není příliš patrná, ale lze ji rozlišit. Při porovnání metalografických snímků z obou řezů svaru č. 2 lze konstatovat, že uvedeným postupem svařování je možno vytvořit kvalitní svarový spoj.



10x

Obr. 3.31: Makrostruktura svaru č. 2 v místě řezu 1



10x

Obr. 3.32: Makrostruktura svaru č. 2 v místě řezu 2

Vzhledem k tomu, že při svařování byla pozornost soustředěna na získání svarů bez trhlin, je nutno uvést, že v základním materiálu u svaru č. 2 vznikla na okraji plechu trhlina. Trhlina byla zjištěna po vyjmutí vzorku z pece při vizuální kontrole. Tato trhlina se při realizaci opravného svaru ani po vytvoření koutového svaru dále nešířila a její původ nelze jednoznačně určit. Trhlina je vidět na obr. 3.33.



Obr. 3.33: Trhlina v základním materiálu u svaru č. 2

4. ZÁVĚR

V rámci řešení bakalářské práce byla ověřována realizace vybraných typů svarů aluminidu železa typu Fe_3Al legovaného 5,5 % Cr a 1% Nb s obsahem 0,05 % C ručním svařováním metodou ISO 4063-141. Byly realizovány dva typy tupých svarů a jeden rohový spoj. Základním kritériem pro hodnocení kvality svarových spojů byl požadavek na celistvost spoje.

Svařovací proces byl monitorován systémem WeldMonitor. Na základě monitorování svařovacího procesu byly předem stanoveny i vhodné svařovací parametry na zkušebních svarech. Pozornost byla zaměřena především na stabilitu procesu a čistící efekt elektrického oblouku. Pro svařování vybraných spojů byl nakonec použit střídavý proud s frekvencí 100 Hz s balancí proudu i času. Kořen svaru byl chráněn a formován tavidlem EN 760 – SF AB 1 65 AC. Při svařování aluminidu železa ve srovnání se svařováním oceli je tvorba a ovládání svarové lázně obtížnější s ohledem na větší povrchové napětí taveniny a také na použitý tvar a rozměry přídavného materiálu.

Realizované svary byly hodnoceny vizuálně a na základě metalografického rozboru. Lze konstatovat, že uvedené typy svarových spojů lze ručním svařováním a za níže uvedeného režimu zhotovit:

- Teplota předehřevu: 250 až 300 °C;
- Svařovací proud: střídavý, 100 A, 100 Hz;
- Balance času a proudu: 80 %;
- Rychlost svařování: cca 0,65 mm·s⁻¹;
- Elektroda: WT 20 – průměr 3,2 mm, úhel 60°;
- Ochranný plyn: Argon 4.8, 15 l·min⁻¹;
- Dohřev: 700 °C 2 hod;
- Chladnutí v peci: do 50 °C.

Zhotovení svaru předpokládá důkladnou přípravu a dodržení stanoveného postupu i znalosti a zkušenosti svářeče vzhledem ke specifickým vlastnostem základního materiálu a použitého přídavného materiálu.

V budoucnu při realizaci dalších experimentů doporučuji zaměřit se na metalurgii a výrobu základního i přídavného materiálu, při svařování dořešit ochranu a formování kořene svaru. Pozornost je nutno v dalším věnovat i hodnocení mechanických vlastností svarových spojů a realizaci svarů na větších polotovarech.

5. LITERATURA

- [1] Kuncipál, J. a kol.: Teorie svařování, SNTL v Praze 1986
- [2] Hudec, Z.: deformace a napětí při svařování, TU v Liberci 1998.
ISBN 80-7083-313-0.
- [3] Nová I., Nováková I., Bradáč J.: Technologie I. – Slévání a svařování, TU v Liberci, 2006. ISBN 80-7372-052-3.
- [4] M. Hluchý; J.Kolouch; R. Paňák: *Strojírenská technologie 2*, polotovary a jejich technologičnost, Scienta, spol. s.r.o; pedagogické nakladatelství Praha 2001
- [5] Kolektiv autorů: Technologie svařování a zařízení – učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů, ZEROS v Ostravě 2001.
ISBN 80-85771-81-0.
- [6] Minařík, V. a kol. : Obloukové svařování, Scienta v Praze 2007.
ISBN 978-80-8960-28-9.
- [7] www.wikipedia.cz (2012)
- [8] www.svarbazar.cz (2012)
- [9] www.svarecky-elektrody.cz (2012)
- [10] www.gamaocel.cz(2012)
- [11] www.froweld.cz(2012)
- [12] www.artweld.cz (2012)
- [13] www.svarak.cz (2012)
- [14] www.omc.cz (2013)
- [15] www.ksp.tul.cz (2013)
- [16] www.toolscomp.cz (2012)
- [17] www.mmspektrum.com (2012)

- [18] Norma ČSN EN ISO 5817
- [19] Norma ČSN EN ISO 6520-1
- [20] McKamey, C. G.: Iron aluminides, in physical metalurgy and processing of intermetallic Compounds, Eds.N.S Stoloff, V.K. Sikka. Chapman & Hall, 1996, s. 351-391.
- [21] ŠEDIVÁ, I. : Vlastnosti slitiny Fe₂₈Al₄Cr z hlediska použití za vysokých teplot. /Disertační práce/, 2003, 89 TU v Liberci Fakulta strojní.
- [22] www.kmt.tul.cz
- [23] ČSN EN ISO 9692-1
- [24] www.electric.cz (2012)
- [25] www.welding.cz (2012)
- [26] Norma ČSN EN ISO 6848
- [27] Norma ČSN EN ISO 05 1309

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákonč.121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 -školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci, nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne považovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce.

Datum: 24.5.2013

Podpis:

Declaration

I have been notified of the fact that Copyright Act No. 121/2000 Coll. applies to my thesis in full, in particular Section 60, School work.

I am fully aware that the Technical University of Liberec is not interfering in my copyright by using my thesis for the internal purposes of TUL.

If I use My thesis or grant a licence for its use, I am aware of the fact that I must inform TUL of this fact; in the case TUL has the right to seek that I pay the expenses invested in the creation of my thesis to the full amount.

I compiled the thesis on my own with the use of the acknowledged sources and the basis of consultation with the head of the thesis and konsultant.

Date: 24.5.2013

Signature: